This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

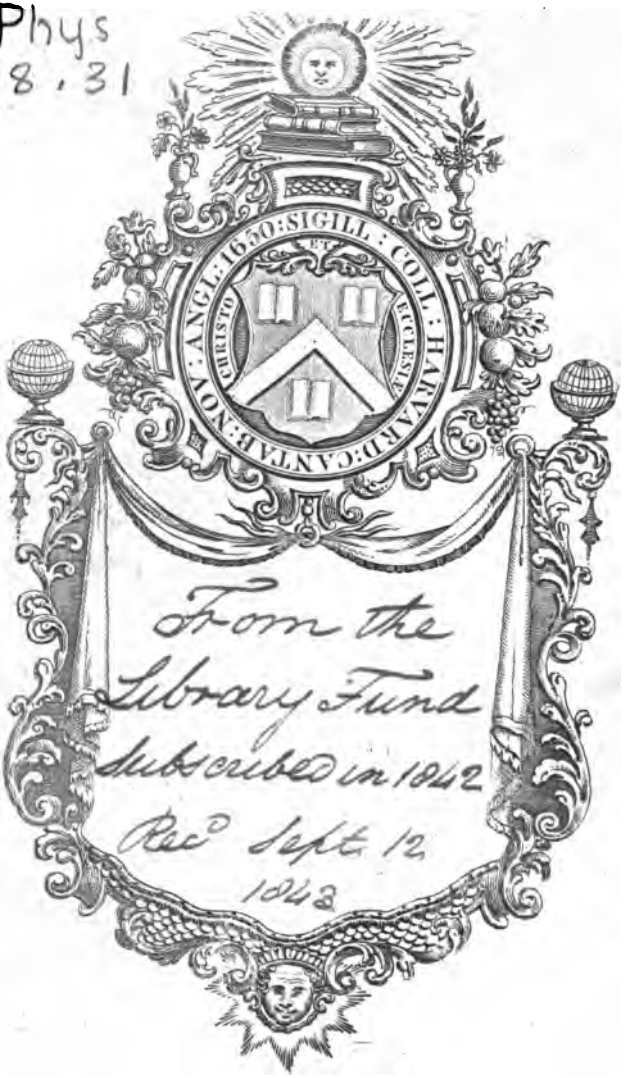
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Phys
208.31


VE:ANGL:1650:SIGILL:COLL:HARVARD:CANTAB:NOV
CHRISTO
ECCLESIAE
From the
Library Fund
subscribed in 1842
Rec'd Sept 12
1842

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE,

PAR

ATHANASE DUPRÉ,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE,
PROFESSEUR DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE AU COLLÉGE-ROYAL DE RENNES,
ET PRÉCÉDEMMENT AU COLLÉGE DE L'ARC, A DÔLE.

—

TOME SECOND.

—

A RENNES,
CHEZ VATAR, LIBRAIRE,
RUE ROYALE.

—

1831.

Phys 208.31

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE.

Suite de la troisième Partie.

MOUVEMENS IMPERCEPTIBLES ET MOUVEMENS PERCEPTIBLES QUI EN RÉSULTENT.

LUMIÈRE.

Les corps médiocrement chauds, placés à une distance convenable, nous font éprouver une sensation unique susceptible d'être perçue par toutes les parties de notre corps, et qui est bien connue de tout le monde; mais si on les porte à un haut dégré de chaleur, ils deviennent alors capables d'affecter en outre spécialement un de nos organes, l'organe de la vue : Par exemple, une barre de fer, à la température de l'eau bouillante, ne peut produire en nous, dans l'obscurité, que la première de ces sensations; tandis que, si elle est chauffée à blanc, elle affecte aussi notre œil, et nous la voyons.

Toutefois, il n'est pas nécessaire, pour que les corps puissent être vus, qu'ils soient portés dans toute leur étendue à une température élevée; il suffit qu'une couche très-mince vers leur surface devienne lumineuse pour que nous les apercevions : dans cet état, on les appelle corps *illuminés* pour les distinguer des corps *lumineux* dans toute leur masse. Presque toutes les substances peuvent être illuminées par l'action à distance des corps lumineux; c'est ainsi que le soleil, en agissant sur les objets qui nous environnent, les rend visibles et multiplie à l'infini nos jouissances, en nous mettant en rapport avec eux : une bougie placée dans une chambre pendant la nuit est encore dans le même cas; elle échauffe la surface des corps qui s'y trouvent et la rend lumineuse, parce que les atomes qui la composent n'étant point gênés (*voy.* pag. 46, tom. 1^er^), peuvent recevoir avec facilité une grande augmentation de mouvement.

Ces idées, quoique découlant naturellement des faits, pourront paraître extraordinaires, surtout aux personnes peu habituées à réfléchir sur les phénomènes physiques; elles penseront peut-être que, si une feuille de papier était aussi chaude à sa surface lorsqu'elle est exposée au soleil, qu'une barre de fer portée à la température rouge, elle brûlerait les doigts quand on la toucherait : mais en considérant combien est petite la quantité de matière dans laquelle réside cette forte chaleur, elles cesseront d'être surprises de ne lui point voir produire ordinairement d'effets. La même absence d'énergie s'observe d'ailleurs dans d'autres circonstances où le développement de chaleur ne peut être mis en doute : on n'est pas brûlé, par exemple, quand on prend dans sa main un morceau de phosphore dont la surface est rouge de chaleur à cause de la combustion qui s'y effectue, ni quand on passe rapidement sa main dans la flamme; et, cela étant, pourquoi le serait-on davantage par une couche extrêmement mince de matière lumineuse qui ne diffère de la surface d'un bâton de phosphore que par la cause qui entretient sa chaleur, et qui

s'éteint presqu'aussitôt qu'on pose la main dessus, refroidie tant par l'action du corps qu'elle recouvre que par l'action de la main elle-même.

Plusieurs expériences pourraient servir à prouver l'identité entre la modification des corps illuminés à leur surface et la modification des corps lumineux, s'il n'était pas déjà évident que ceux-ci, étant des corps très-chauds, ne peuvent agir sur les matières qui les entourent que de manière à en augmenter la chaleur. Nous allons rapporter cependant les plus curieuses :

1.° Qu'on expose au grand jour une pierre de Bologne (1) qui, après avoir été calcinée, ait été mise dans une boîte fermée, et qu'au bout de quelques minutes on la porte dans l'obscurité; elle paraîtra d'abord lumineuse comme un morceau de fer rougi qui commence à s'éteindre, sa lumière ira ensuite en s'affaiblissant de plus en plus, et enfin, après quelques minutes, elle disparaîtra entièrement.

Pour que cette expérience réussisse bien, il faut que l'observateur soit resté un peu de temps dans l'obscurité, ou bien ait tenu ses yeux fermés; il est nécessaire aussi que la pierre n'ait pas servi un grand nombre de fois depuis sa dernière calcination.

2.° Qu'on expose au grand jour différentes matières, telles que du bois de sapin sec, différentes écorces d'arbres et de plantes dont la couleur se rapproche du blanc, du coton, des sels, du sucre, de la cire blanche, de la toile de lin ou de chanvre, et par-dessus tout du papier blanc, et qu'on les fasse passer subitement dans l'obscurité; un observateur qui y sera depuis quelques temps les y verra luire encore pen-

(1) C'est une pierre qui se trouve en plusieurs endroits de l'Italie, et principalement auprès de Bologne; elle est ordinairement de la grosseur d'un œuf de poule, d'une figure irrégulièrement arrondie, de couleur grise et de nature talqueuse. On peut la remplacer par un morceau de sulfate de Baryte ou de quelques autres substances qu'on trouve indiquées dans les livres de chimie et d'histoire naturelle.

dant plusieurs minutes d'une lumière plus faible que celle de la pierre de Bologne, et qui durera moins long-temps.

M. Beccari, qui a fait beaucoup d'expériences sur ce sujet, s'était fait construire une petite loge portative, munie à l'un de ses côtés d'un tour semblable à ceux des couvens de religieuses; le tout était disposé de manière qu'il pouvait commodément rester long-temps sans voir le jour, afin de disposer ses yeux à sentir une lumière faible, et faire passer promptement les corps du grand jour dans une obscurité parfaite.

Les chimistes démontrent encore par plusieurs faits que la lumière agit dans certains cas sur les corps qu'elle illumine, pour produire des combinaisons ou des décompositions, de même que la chaleur rouge; ces faits, qu'on peut étudier dans l'ouvrage de M. Thénard, sont une nouvelle preuve à joindre aux précédentes.

S'il faut un temps sensible pour qu'un corps illuminé s'éteigne, lorsque l'influence de la cause cesse, il n'en est pas de même dans les circonstances ordinaires pour que la surface d'un corps quelconque devienne lumineuse, quand elle est exposée à l'action d'un corps lumineux. Mais lorsque les distances sont très-considérables, on peut s'assurer alors qu'il faut, pour que la surface s'échauffe jusqu'à devenir visible, un temps d'autant plus long qu'elles sont plus grandes. L'expérience qui constate ce fait est due à MM. Roëmer et Cassini : ils observèrent le mouvement du premier satellite de Jupiter à une époque où la terre était à peu près entre le soleil et cette planète sur la ligne qui les joint, et ils savaient d'ailleurs que le temps nécessaire pour qu'il fît une révolution, était d'environ 42 heures $\frac{1}{2}$. Ce satellite, dans son mouvement, passe derrière Jupiter, de manière que pendant quelque temps il cesse d'être visible, étant garanti de l'action du soleil par l'action de sa planète. Si la terre fût constamment restée au même lieu, on conçoit, d'après cela, que le satellite aurait paru sortir de l'ombre toutes les 42 heures $\frac{1}{2}$; mais, après un certain temps, elle se trouva à peu près sur la même

ligne de l'autre côté du soleil, et le satellite parut sortir de l'ombre 16′. plus tard que l'époque indiquée par le calcul. MM. Roëmer et Cassini en conclurent que la lumière mettait 16 minutes pour parcourir une distance double de celle qui sépare la terre du soleil, et que la lumière du soleil mettait par conséquent 8′ pour parvenir jusqu'à la terre. Pour nous qui sommes convaincus que la lumière n'est pas une substance, mais qu'elle consiste en un mouvement, de même que la chaleur dont elle ne diffère jamais essentiellement, nous conclurons seulement de ce fait que, quand les circonstances sont telles, il faut 16′ de plus, lorsque la distance est plus grande de deux fois celle du soleil à la terre, pour que le corps illuminé puisse produire en nous la sensation, pour qu'il puisse illuminer la dernière couche de l'atmosphère, et que le mouvement se propage à travers l'air (*voyez* plus loin la réfraction de la lumière) jusqu'à notre organe.

Ces principes étant posés, il devient inutile de rechercher quelles sont les sources de la lumière ; elles ne diffèrent en rien des sources de la chaleur, mais elles doivent être très-intenses, au moins dans quelques parties des corps. Nous pouvons donc passer de suite à l'étude de la transmission de la lumière, que nous diviserons en trois sections, contenant :

La première, l'action directe des corps lumineux sur les substances non lumineuses ; c'est l'optique proprement dite.

La seconde, la réflexion de la lumière, ou catoptrique.

Et la troisième, la réfraction de la lumière, ou dioptrique.

Optique.

Nous avons déjà dit que l'action à distance d'un corps lumineux sur un corps non lumineux, était celle d'un corps chaud sur un corps froid, et que la surface de celui-ci devenait lumineuse en un temps inappréciable dans les circonstances ordinaires, parce que les mouvemens des atomes n'y sont pas gênés.

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE,

PAR

ATHANASE DUPRÉ,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE,
PROFESSEUR DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE AU COLLÉGE-ROYAL DE RENNES,
ET PRÉCÉDEMMENT AU COLLÉGE DE L'ARC, A DÔLE.

—

TOME SECOND.

—

A RENNES,
CHEZ VATAR, LIBRAIRE,
RUE ROYALE.

—

1831.

lité de la lumière; considérée dans les corps illuminés, elle correspond à la modification de la couche lumineuse indiquée en premier lieu (1°.).

Une deuxième qualité de la lumière, la couleur qui fait de la nature un tableau si varié, dépend de la modification que nous avons indiquée en second lieu; il est aisé de s'en convaincre en donnant aux corps une épaisseur moindre que celle de la couche qui devient lumineuse à leur surface dans les circonstances ordinaires; on les voit alors se parer de couleurs diverses, et qui dépendent du dégré de ténuité auquel on les a réduits.

Ces sortes d'expériences réussissent très-bien avec l'eau de savon ou tout autre liquide visqueux; on y plonge un anneau d'un corps solide quelconque (l'ouverture d'une pipe par exemple), puis on l'en retire pour examiner la lame liquide qui s'y trouve adhérente. Lorsqu'on la laisse en repos, elle s'amincit de plus en plus, parce que le liquide qui la compose s'écoule lentement vers la partie inférieure de l'anneau, et bientôt on voit paraître de brillantes couleurs vers son sommet; quelques instans plus tard la lame est divisée en bandes horizontales qui présentent chacune une couleur particulière déterminée par son épaisseur. Les bulles de savon offrent un spectacle du même genre bien digne, à cause des conséquences importantes qu'on en peut tirer, de fixer l'attention des physiciens.

Newton, pour examiner plus facilement ce fait et toutes les circonstances qui l'accompagnent, a imaginé une autre manière de le produire : il disposait un verre lenticulaire très-légèrement convexe sur un verre plan, et les pressait assez fortement l'un contre l'autre avec ses deux mains. Voici ce qu'il observait alors : au point de contact on apercevait une tache noire qui était environnée d'anneaux colorés dont elle était le centre, et qui gardaient entre eux l'ordre suivant en commençant par le plus petit :

Bleu, blanc, jaune, rouge, violet, bleu, vert, jaune, rouge, pourpre, bleu, vert, jaune, rouge, vert, rouge,

bleu-verdâtre, rouge, bleu-verdâtre, rouge pâle, bleu-verdâtre, blanc-rougeâtre.

Au-delà de ces teintes qui allaient toujours en s'affaiblissant, la couleur retombait dans le blanc.

M. Haüy a observé sur un solide le même fait dans une expérience très-remarquable. Il détacha d'un morceau de mica (substance feuilletée), dont la couleur naturelle était le jaune, une lame extrêmement mince qui parut aussitôt d'un bleu très-intense.

D'après cela, il ne peut rester aucun doute sur la proposition énoncée plus haut : *La couleur dépend de l'épaisseur de la couche lumineuse* (1).

(1) Il est facile d'expliquer pourquoi la même couleur peut s'offrir à des épaisseurs différentes; c'est que dans ces endroits, si on en excepte le premier, la lame d'air ne devient plus lumineuse dans toute sa masse : la première surface est d'abord illuminée; elle transmet la lumière à la seconde surface, comme nous le verrons dans la dioptrique; de sorte qu'il faut regarder la lame comme composée de deux couches lumineuses séparées par une couche obscure. Cette dernière couche est d'autant plus épaisse que la portion de la lame d'air considérée l'est elle-même davantage, et sa température est d'autant moins élevée que son épaisseur est plus considérable, ou que l'épaisseur de la lame d'air est plus grande. Or, plus la température de la couche obscure est élevée, mieux elle conduit la chaleur, puisque les mouvemens des atomes sont d'autant plus faciles à exciter qu'ils sont plus écartés les uns des autres, et par conséquent plus elle tend à agir efficacement pour refroidir les couches lumineuses et en diminuer la profondeur; en second lieu, plus la température de la couche obscure est élevée, moins la température de la couche lumineuse la surpasse; moins par conséquent elle peut être refroidie par elle; enfin, en troisième lieu, plus la couche obscure est épaisse, plus, à cause de sa masse, elle tend à agir efficacement pour refroidir les couches lumineuses et en diminuer la profondeur. A mesure que l'épaisseur de la lame d'air augmente, il y a donc trois causes qui font varier l'action de la couche obscure; les deux dernières la rendent de plus en plus et la première de moins en moins intense; et on conçoit qu'il peut y avoir compensation à certains intervalles entre l'augmentation d'intensité due aux deux dernières et la diminution due à la première, de manière que la profondeur de la couche lumineuse soit la même.

Quant au blanc, on ne doit pas le regarder comme une couleur, il ne correspond à aucune profondeur déterminée; toutes les fois que la chaleur est très-vive, quelle que soit la profondeur, les corps nous paraissent blancs. Par exemple, si l'on se sert de la lame d'eau de savon d'une des expériences précédentes pour y regarder comme dans un miroir l'image du soleil, on la verra blanche, quoique les diverses parties de la lame auxquelles sera due la modification de l'œil aient des épaisseurs correspondantes à diverses couleurs, et qu'elles aient en effet ces diverses couleurs lorsqu'on les soumet à l'action d'un corps moins lumineux que le soleil. Ainsi, *l'épaisseur de la couche lumineuse ne changeant pas, les corps passent quand la température s'élève assez du noir au blanc par une couleur déterminée qui dépend de cette épaisseur.* La petite lame de mica de M. Haüy deviendrait de même blanche à un degré de chaleur très-élevé, et bleue avant de se refroidir; en ne la voyant rougir dans l'obscurité à aucune température, elle paraîtrait une exception à un fait qu'on n'a regardé jusqu'à présent comme général, que parce qu'on n'a essayé à rendre lumineux que des corps dont l'épaisseur était plus grande que celle qui correspond à la couleur rouge, couleur qui affecte déjà notre organe aussi profondément qu'il est possible. Ce dernier fait est encore une preuve de la proposition que nous venons d'établir; ce passage de tous les corps ayant une grande épaisseur du noir au blanc par le rouge, nous fait voir aussi que les couleurs ne dépendent pas essentiellement de la nature chimique des corps, ou, ce qui est la même chose, de la forme des atomes; elle n'influe que parce qu'elle détermine la conducibilité et la facilité avec laquelle les corps s'échauffent à leur surface.

Il ne faut pas cependant regarder la couleur comme dépendant uniquement de l'épaisseur de la couche lumineuse; des corps différens doivent avoir des épaisseurs diverses pour présenter la même couleur; c'est ce dont Newton s'est assuré en remplaçant dans son expérience l'air qui séparait

les deux verres par de l'eau : il vit alors les anneaux se contracter, de sorte que l'épaisseur de la lame d'eau devait être moins grande que celle de la lame d'air pour présenter la même couleur.

La dernière qualité de la lumière correspond à la modification que nous avons indiquée en dernier lieu ; elle est assez analogue au timbre des sons. Deux corps peuvent présenter la même couleur et briller d'une lumière égale, c'est-à-dire que la couche lumineuse à leur surface peut avoir la même épaisseur et la même température *maximum*, sans que pour cela ils affectent l'œil de la même manière ; on nomme *nuances* les différentes teintes que les corps peuvent présenter alors, et elles sont dues à des ordres de températures différens (*voy.* 4.°).

Certaines substances restent constamment blanches, quelle que soit l'énergie du corps lumineux ; le papier, par exemple, est dans ce cas. Cela vient sans doute de ce que la communication de chaleur entre la surface et l'intérieur se fait très-difficilement, de sorte que la vîtesse est toujours assez grande pour que le corps ne change pas d'aspect ; seulement, à mesure que le corps lumineux exerce une influence moins grande, l'épaisseur de la couche diminue probablement de manière à finir par s'anéantir dans l'obscurité.

La surface des corps illuminés étant une lame lumineuse très-mince, agit sur les corps non illuminés à la manière d'un corps lumineux ; mais son action est beaucoup moins énergique : de plus, si elle n'est lumineuse qu'à une profondeur correspondant à une couleur déterminée, au bleu, par exemple, elle ne rendra lumineux le corps non illuminé qu'à cette même profondeur, de sorte qu'il paraîtra bleu dans le cas que nous considérons. Cela pourrait sembler surprenant, lorsque le corps non illuminé ne prend dans les circonstances ordinaires qu'une couleur correspondant à une profondeur moindre ; ainsi on pourrait trouver étonnante l'action d'un corps rouge illuminé sur un autre corps qu'il rendrait rouge, quoiqu'il ne fût susceptible que de devenir bleu dans les circonstances ordinaires. Pour concevoir cet effet, il faut admettre

que le corps bleu devient ordinairement lumineux un peu au-delà de la profondeur qui convient pour le bleu, mais beaucoup moins fortement, de sorte qu'il ne paraît bleu que parce que notre organe ne sent pas une lumière faible en même temps qu'une beaucoup plus forte; quand ensuite il se trouve soumis à l'action du corps rouge illuminé, l'intensité de sa lumière est moindre que dans les circonstances ordinaires, et la diminution est bien plus forte dans la couche qui lui donnait la couleur bleue, de sorte qu'il peut paraître rouge. Ce que nous venons de dire s'appliquerait aussi à d'autres couleurs; mais nous devons faire remarquer que c'est une manière d'expliquer un fait qui se produit souvent et qui peut aussi évidemment ne pas arriver dans une multitude de cas.

Définitions. Pour nous conformer au langage généralement reçu, nous appellerons dans tout ce qui va suivre :

Rayon lumineux, la direction suivant laquelle un corps lumineux agit ou peut agir sur un autre corps; et nous dirons que le rayon lumineux part du corps lumineux pour aller au corps soumis à son influence. Ce langage devra être regardé comme complètement figuré dans le cas où l'espace intermédiaire sera vide; c'est ce qui arrive, par exemple, quand on considère l'action du soleil sur les planètes. Dans le cas où cet espace contiendrait un corps transparent, l'expression de *rayon lumineux* aura une autre signification. Pour la bien comprendre, il faut savoir que l'action du corps lumineux n'est plus immédiate (les corps un peu épais sont de bons écrans, même lorsqu'ils sont transparens); il agit d'abord sur la surface du corps transparent et la rend lumineuse; la lumière se transmet ensuite de proche en proche à travers le corps transparent, comme nous le verrons dans la dioptrique, et c'est sa dernière surface qui agit sur le corps non lumineux pour l'illuminer. Le *rayon lumineux* est alors *une file de molécules lumineuses* qui prend naissance vers le corps lumineux.

Dans les circonstances ordinaires, les corps étant plongés dans l'air, qui est une substance transparente, on peut re-

garder toute molécule lumineuse ou *radieuse* comme le sommet d'un très-grand nombre de *pyramides lumineuses* qui remplissent tout l'espace environnant, et agissent par leur base sur tous les corps qui se trouvent sur leurs directions. On peut remarquer aussi qu'elles vont en divergeant, c'est-à-dire qu'elles s'écartent les unes des autres à mesure qu'elles s'éloignent du lieu où elles prennent naissance.

Transmission de la lumière. « Les pyramides (1) de lumière qui viennent du point *radieux* ou *lumineux* à l'œil, et que nous nommerons simplement *rayons*, quand nous n'aurons en vue que leur direction ou la ligne qui leur sert d'axe, sont parfaitement droites dans un milieu homogène. Cette vérité, dont nous faisons tous les jours l'épreuve depuis notre enfance, est reçue comme un axiome; c'est en vertu de cette connaissance que le chasseur estime la perdrix dans la direction de son fusil; qu'un ingénieur, pour aligner un chemin ou un fossé, plante des piquets dont les extrémités se trouvent rangées dans le rayon visuel; qu'un géomètre juge un objet dans l'alignement des pinules ou de la lunette de son instrument : car si l'on n'était pas bien sûr que le rayon qui va de l'objet à l'œil est parfaitement droit dans toute sa longueur, on ne pourrait pas légitimement conclure la position de cet objet par la partie du rayon visuel qui aurait suivi l'instrument en arrivant à l'œil.

» C'est encore sur la foi de cet axiome et par la grande habitude que nous avons de voir, que nous déterminons la direction dans laquelle se trouve chaque point visible d'un objet, et sa distance quand elle n'est pas grande. A l'égard de la direction, nous voyons toujours l'objet dans la longueur indéterminée de l'axe de la pyramide lumineuse qui nous le fait sentir dans la ligne PQ, *fig.* 1; et quant à la distance, nous le rapportons ordinairement à l'endroit de cet axe où les rayons divergens qui entrent dans l'œil iraient

(1) Abbé Nollet, *Leçons de physique expérimentale.*

en droite ligne se réunir ou se croiser, s'ils retournaient sur leurs pas, en R, par exemple. Cette règle nous domine tellement dans la vision des objets, que nous la suivons comme malgré nous, lors même que la réflexion nous apprend qu'elle nous trompe, comme on le verra dans la suite par le détail que nous ferons de ses exceptions.

» Au reste, ce n'est pas seulement la vue qui nous fait juger ainsi de la distance et de la direction des objets qui sont hors de nous; cela est commun aux autres sens, quoique peut-être avec moins de précision. Un aveugle qui cherche le feu pour se chauffer, s'avance en droite ligne autant qu'il peut vers l'endroit d'où il sent que vient la chaleur, et il juge qu'il en est assez près par l'impression plus ou moins forte qu'il en ressent. Nous allons de même à la découverte du corps odorant ou du corps sonore, et nous connaissons à peu près son dégré de proximité par la quantité d'odeur ou de son qui frappe l'organe; si les échos nous trompent, si quelquefois nous avons peine à décider de quel côté est une cloche dont le son se répète fortement, n'est-ce point parce que nous savons dès nos plus tendres années que le son nous vient naturellement en ligne droite et sans détours du lieu d'où on le fait naître?

» Puisque la vision des objets se fait en ligne droite, on doit s'attendre qu'elle n'aura pas son effet, quand cette ligne sera interrompue par quelque obstacle. Par exemple, quand un vaisseau vient de la pleine mer au continent, on aperçoit les clochers et les cheminées d'une ville, avant que de voir le rez-de-chaussée des édifices; et ceux qui sont dans le port, et qui commencent à découvrir ce vaisseau arrivant, reconnaissent le haut des mâts et des voiles, avant que de voir le corps du bâtiment : c'est un effet de la convexité de la mer qui suit celle du globe terrestre dont elle fait partie; mais cela n'arrive ainsi que parce que cette courbure de la surface de l'eau interrompt le rayon visuel du spectateur qui cherche à voir la partie la plus basse de l'objet. (*Voy.* fig. 2).

» Ce sont ces obstacles par lesquels les rayons de lumière se trouvent interrompus qui produisent ce que l'on appelle *ombre*, en empêchant que le mouvement d'oscillation imprimé aux files de molécules par le corps lumineux, comme nous l'avons expliqué précédemment, ne se communique plus loin. L'ombre n'est donc autre chose, à proprement parler, qu'une lumière éteinte par l'interposition d'un corps opaque ; elle doit occuper par conséquent tout l'espace qui serait illuminé par cette portion de lumière, si elle avait le mouvement qu'elle ne peut plus recevoir.

» Il suit de là qu'un petit obstacle produit beaucoup d'ombre lorsqu'il est près du corps lumineux, et qu'il en fait moins à mesure qu'il s'en éloigne davantage : la proportion est telle que la quantité de rayons interceptés diminue comme le carré de la distance qui augmente ; c'est-à-dire que, quand l'obstacle est à une distance double, triple ou quadruple, il intercepte 4 fois, 9 fois ou 16 fois moins de lumière que quand il était à la première distance ; car puisqu'une pyramide de rayons divergens occupe sur le carton placé à la deuxième distance 4 fois plus d'espace qu'à la première, il est évident qu'un corps opaque d'une grandeur déterminée qui, à la distance d'un pied, arrêterait toute cette pyramide, n'en doit plus arrêter que le quart à la distance où le cercle formé par cette lumière se trouve 4 fois aussi grand que lui.

» On voit par là pourquoi les taches qui viennent aux yeux vis-à-vis de la prunelle n'empêchent pas absolument de distinguer les objets, tant qu'elles n'en couvrent qu'une petite portion ; car comme elles n'interceptent qu'une partie des rayons divergens qui forment chaque pyramide lumineuse, elles en laissent encore passer assez de chacune pour rendre sensibles, quoique plus faiblement, tous les points d'où partent ces pyramides. Les personnes qui ont les yeux dans cet état peuvent suppléer en quelque façon au nombre des rayons qui leur manquent par l'activité de ceux qui restent, en éclairant l'objet d'une manière plus forte : il y

a même des moyens pour faire entrer par la partie de la prunelle qui n'est point couverte plus de rayons qu'il ne s'en présente naturellement, et par là dédommager l'œil de ce que sa tache lui fait perdre ; mais outre que ces moyens n'appartiennent point à l'action immédiate de la lumière dont nous sommes maintenant occupés, ils ont l'inconvénient de changer la divergence des rayons ; et nous ferons voir ailleurs que, bien loin d'aider la vision, cela peut y nuire, quand l'œil n'a point d'autre défaut que celui d'être taché.

» Comme la lumière s'affaiblit à mesure que la distance augmente, on doit penser que l'impression que les objets font sur l'œil doit diminuer à mesure qu'ils en sont plus éloignés, et finir même par être insuffisante pour produire la sensation ; mais ce dégré d'éloignement où la vue manque varie selon l'état de l'œil, la nature ou les qualités de l'objet, et l'intensité de la lumière qui le rend visible.

» Quand je dis l'état de l'œil, je ne prétends parler ici que de son dégré de sensibilité ; il n'est point encore temps de raisonner sur la figure de ses humeurs dont les changemens influent plus que toute autre chose sur l'étendue de la vision distincte. Il est certain que cet organe est, comme tous les autres, plus sensible dans certaines personnes, dans certains animaux, et qu'il est sujet aussi à vieillir, à s'user, à se gâter : l'âge, les maladies, l'abus qu'on en peut faire en l'appliquant trop long-temps ou trop souvent à des objets fort lumineux, tout cela est bien capable d'altérer la sensibilité de l'œil ; et telle lumière que la distance a rendue trop faible pour agir efficacement sur celui-ci, fera encore une impression suffisante sur celui-là, s'il est mieux constitué ou mieux conservé : bien des gens voient par cette seule raison plus distinctement que d'autres tous les objets, et les découvrent de plus loin.

» Les efforts qu'on fait pour apercevoir ce qui est fort éloigné tendent à dilater la prunelle, autant qu'il est possible, pour recevoir un plus grand nombre de ces rayons trop raréfiés ; c'est un moyen que la nature inspire et qui a son

effet, mais il est bien limité : l'art en fournit d'autres qui sont beaucoup plus puissans, et dont je parlerai quand l'ordre des matières le permettra.

» Les personnes dont les yeux sont très-sensibles, et qui ont, comme on dit, *la vue tendre*, ont l'avantage de voir où les autres ne voient pas : il s'en est trouvé qui lisaient pendant la nuit sans chandelle, et qui distinguaient tout dans des souterrains et dans des cachots très-obscurs ; mais pour l'ordinaire, elles ont le désavantage de ne voir qu'avec peine les objets qui sont fort éclairés et d'une couleur resplendissante : j'en connais qui ne peuvent soutenir la vue du pavé lorsque les rayons du soleil donnent dessus en été, et qui, en voyageant sur la neige, sont obligés d'avoir les yeux presque toujours fermés : ces sortes de vues se fatiguent aussi fort aisément ; elles ne sont point à l'épreuve d'une longue lecture, surtout à la bougie, ni d'une longue suite d'observations délicates.

» Les hiboux, les chats et les autres animaux qui chassent pendant la nuit, ont des yeux qui s'ouvrent beaucoup : comme ils ne voient ordinairement que par des rayons de lumière très-faibles, la nature leur a donné le moyen d'en recevoir un plus grand nombre ; elle joint sans doute à cet avantage celui d'un organe très-sensible, car on peut remarquer que la grande lumière fait mal à ces animaux, et que, quand ils y sont exposés, plusieurs d'entre eux ont soin de rétrécir beaucoup la prunelle, à quoi la nature a encore pourvu par une organisation particulière.

» L'espèce et les qualités de l'objet font encore qu'on l'aperçoit à une distance plus ou moins grande. Si c'est un corps lumineux par lui-même, comme la flamme et tout ce qui y ressemble, tous les points de sa surface sont radieux ; et si cette flamme a beaucoup d'activité, les rayons de lumière en deviennent plus puissans : ainsi la plus petite bougie allumée s'aperçoit de plus loin qu'un ver-luisant pendant la nuit, et l'un et l'autre beaucoup mieux qu'un corps opaque de même grandeur et également éloigné qu'on prendrait soin

de bien éclairer. Rien n'approche davantage de ces corps qui brillent par eux-mêmes que les surfaces polies et de couleurs vives, comme le blanc, le rouge, le jaune, etc., parce que d'une part il y a plus de points lumineux, et que de l'autre chacun de ces points brille davantage. On découvre de 25 ou 30 lieues et même de plus loin certaines montagnes couvertes de neige, qu'on perd de vue dès que cette neige vient à se fondre.

» Enfin, la manière dont un objet est éclairé fait encore qu'on l'aperçoit à des distances bien différentes ; car si la lumière qui le rend visible ne part point de lui immédiatement, elle a des effets plus ou moins limités à proportion de sa force primitive, du chemin qu'elle a fait et des milieux qu'elle a traversés avant que d'arriver à l'objet qu'elle éclaire : mais je ne dois point m'arrêter maintenant à ces considérations, parce qu'elles appartiennent à d'autres parties qui seront traitées dans la suite ».

Avant d'aller plus loin, il est à propos, quoique nous ne puissions pas traiter ici complètement ce sujet, d'expliquer, comme application des notions précédentes, quelques phénomènes relatifs à la vision, tels que ceux qui concernent la situation, la grandeur, la distance, la figure et la clarté de l'objet aperçu :

« L'œil qui est en fonction, ou qui regarde, devient comme la base commune d'une infinité de pyramides de lumière qui ont leurs sommets aux points radieux d'un corps visible ; et quoique cet œil change de place, il aperçoit toujours le même objet devant lequel il est, non par ces rayons dont il était frappé d'abord, mais par d'autres tout-à-fait semblables ; puisque chaque point de la surface qu'il contemple anime un hémisphère entier de ces rayons divergens, dont chaque pyramide lumineuse n'est qu'une très-petite portion.

» Mais pourquoi l'objet diversement coloré, moitié rouge, par exemple, et moitié bleu, ne se voit-il pas sous une couleur mixte, puisqu'il est affecté en même temps par deux pyramides lumineuses, capables de produire l'une la sensation du rouge, l'autre celle du bleu ?

» C'est que la prunelle n'est point le dernier terme des rayons qui s'y rassemblent : cette partie de l'œil n'est qu'une simple ouverture qui laisse passer outre. On doit donc concevoir que toutes ces pyramides de lumière qui vont aboutir à l'œil passent sans confusion par la prunelle, en s'y croisant ; après quoi elles se modifient et continuent leur route jusqu'au fond de l'œil, où chacune d'elle fait son impression séparément de l'autre.

» Or, ce sont toutes ces impressions qui dessinent l'image de l'objet, comme je l'expliquerai plus particulièrement en parlant de la vision distincte : et puisque les rayons sont des lignes droites, et que, quand deux droites se coupent, elles sont après leur intersection, dans des positions relatives contraires, de telle sorte que si l'une était au-dessus ou à droite de l'autre, elle se trouve au-dessus ou à gauche et réciproquement ; on doit penser que tous les faisceaux de lumière qui se rendent des différens points de l'objet à l'œil, se croisent dans la prunelle, et que l'image qui en résulte au fond de cet organe prend une situation renversée. C'est ainsi, et par les mêmes raisons, qu'étant dans une chambre bien fermée où la lumière n'entre que par un trou pratiqué au volet de la fenêtre, ou à la porte, on aperçoit au plafond et sur la muraille la figure et les mouvemens des objets extérieurs, mais dans un ordre renversé.

» Oui ; c'est une vérité constante, que tout objet éclairé et placé devant l'œil se peint au fond de cet organe, de manière que son image y prend une situation opposée à celle qu'il a. Un homme qui se tient debout y est représenté la tête en bas, et sa main droite devient la gauche ; on peut s'en convaincre par une expérience assez curieuse, mais qui demande un peu d'adresse pour être exécutée avec succès. Il faut fermer la porte et les fenêtres d'une chambre pour la rendre bien obscure, pratiquer à un des volets un trou rond de cinq à six lignes de diamètre, et y appliquer par sa partie antérieure un œil de veau ou de mouton, bien frais, dont on ait enlevé tous les tégumens, à la réserve du dernier qui touche immédiate-

ment l'humeur qu'on nomme *vitrée*. Si cette préparation est bien faite, et qu'on prenne soin de ne point changer la forme naturelle de l'œil en le pressant, ceux qui seront dans la chambre verront fort bien sur le fond de cet œil, et dans une situation renversée, les objets extérieurs qui seront bien éclairés, avec tous leurs mouvemens et leurs couleurs naturelles.

» Si l'on s'étonne de voir les objets droits, quand on sait qu'ils se représentent toujours renversés dans nos yeux, c'est que l'on confond mal à propos l'impression qui se fait sur l'organe, avec le jugement de l'ame qui la suit. *Regarder* et *voir* sont deux choses différentes; en distinguant l'une de l'autre, j'ose me flatter que je pourrai rendre raison du phénomène dont il s'agit, sans me jeter dans ces raisonnemens trop métaphysiques dont quelques auteurs célèbres ont fait usage, et sans avoir recours à ces suppositions forcées qu'on est surpris de trouver dans des ouvrages de réputation.

» Regarder un objet, c'est se tourner vers lui pour en recevoir l'image au fond de l'œil; mais quoique cette image s'y trace avec les couleurs les plus vives, nous ne voyons pas cet objet qu'elle représente, et qui est hors de nous, à moins qué l'impression faite sur l'organe n'excite ou ne réveille en nous l'idée de sa présence, et ne nous porte à juger de sa grandeur, de sa situation, de sa distance, de sa couleur, de ses mouvemens, etc. Ce qui prouve bien que la vision n'est point accomplie par cette seule peinture de l'objet, c'est qu'elle se fait également dans les yeux d'un mort, comme on peut s'en assurer par l'expérience que j'ai rapportée ci-dessus; et d'ailleurs, nous n'avons pas un instant les yeux ouverts en plein jour, que la lumière n'y peigne une infinité d'objets que nous ne voyons point, parce que l'ame occupée d'autres choses ne fait pas attention à tout ce qui se passe sur l'organe de la vue; elle en fait de même à l'égard des autres sens.

» *Voir* est donc un acte de l'ame par lequel nous rapportons à une certaine distance de nous la cause des impressions qui se font sentir sur l'organe, ou, si vous voulez, tout ce

qui est représenté par l'image qui se trace au fond de l'œil. Or, ce petit tableau est un assemblage de points, dont chacun est imprimé par un pinceau de rayons qui vient en droite ligne de l'objet visible. Réduisons ces pinceaux à des rayons simples, n'en considérons que les axes, et supposons que A, B, *fig.* 3, soient les deux extrémités d'une flèche que je regarde, et que C en soit le milieu. Nous pouvons appliquer à ces trois points et à leurs images ce que nous avons dit pag. 21; les rayons extrêmes allant se croiser en E sur celui du milieu, doivent aboutir en *a* et en *b*, et se représenter par conséquent sur la ligne DD, dans un ordre tout opposé à celui qu'ils avaient avant leur croisement.

» Présentement, il faut se rappeler ce que nous avons dit ailleurs, que nous jugeons naturellement l'objet de la vision au bout des pyramides ou faisceaux de lumière qui nous le font sentir. Si cela n'est pas toujours vrai, quant à l'estimation de la distance, c'est une chose incontestable et infaillible par rapport à la direction; et c'est là le point essentiel pour la question que je traite. Il n'est donc pas douteux, et personne ne trouvera extraordinaire que je rapporte en C ce que je sens sur la partie *c* de mon œil; et pourquoi ne rapporterais-je pas de même en A ce dont l'image est imprimée en *a*, et pareillement en B, le bout de la flèche qui m'affecte par le rayon B*b*? Ces deux derniers jugemens sont aussi légitimes que le premier, et j'en puis dire autant de tous les autres points visibles de l'objet pris séparément.

» Mais si, en rapportant ainsi chaque point de l'objet au bout du rayon qui m'en trace l'image, je vois le bout de la flèche A au-dessus de C, et l'autre extrémité B au-dessous de ce même point; ou, ce qui est la même chose, si je vois la flèche droite quoiqu'elle se représente renversée dans mes yeux, est-ce une nouvelle merveille à expliquer? N'est-ce pas plutôt une suite nécessaire de ce que j'aperçois cette flèche par des rayons croisés, et de ce que je suis le penchant naturel que j'ai à rapporter chaque point de l'objet à l'extrémité du rayon qui me le rend visible?

» N'imaginons donc pas, comme on l'a fait, contre toute vraisemblance, que nous voyons naturellement les objets renversés, et que ce n'est que par habitude et à force d'expérience que nous apprenons à bien juger de leurs situations. Les enfans et les animaux nouveaux-nés nous donnent des preuves du contraire dans les premiers mouvemens qu'ils font pour exprimer leurs besoins et leurs désirs. Disons plutôt qu'il est impossible que nous voyions jamais les objets autrement que dans leurs situations naturelles, avec des rayons qui se croisent toujours en entrant dans l'œil, à moins que nous ne supposions très-gratuitement que dans la vision nous ne rapportons pas, comme dans l'exercice des autres sens, les objets qui sont hors de nous dans la direction des signes ou des moyens que la nature emploie pour nous les rendre sensibles.

» Pour signifier qu'un homme a le coup-d'œil juste dans l'estimation des grandeurs ou de la distance d'un corps à un autre, on dit communément dans le discours familier qu'il a le *compas dans l'œil*. Cette expression répond, on ne peut pas mieux, aux angles que forment les rayons qui, partant des extrémités de l'objet, viennent se croiser dans la prunelle, et que nous nommerons dorénavant *angles optiques* ou *angles visuels*. Ces lignes droites en s'entrecoupant ainsi, *fig.* 4, font l'office d'un compas de réduction, dont les deux branches courtes s'ouvrent sur le fond de l'œil proportionnellement à la quantité dont les grandes sont ouvertes pour embrasser l'objet entier : tout le monde en ce sens a *le compas dans l'œil*; mais il y a des gens qui s'en servent mieux que les autres, c'est-à-dire, qu'ils ont l'avantage particulier de juger ou d'estimer sûrement les grandeurs d'après des impressions qui sont communes à tous ceux qui voient, et c'est pour eux sans doute que cette façon de parler a été mise en usage.

» Nous voyons donc les objets plus grands lorsque les angles visuels qui embrassent leurs dimensions sont plus ouverts, parce qu'alors ces mêmes dimensions, je veux dire leur hauteur, longueur, largeur, sont rendues au fond de l'œil sous des angles semblables, et que l'image qui en

résulte y occupe un plus grand espace ; ainsi vous voyez la lune plus grande que Mars, Jupiter ou Saturne, parce que les angles visuels qui mesurent les diamètres de son disque apparent, sont beaucoup plus ouverts que ceux sous lesquels vous apercevez les autres planètes.

» Mais ces angles deviennent plus aigus à mesure que l'objet s'éloigne de l'œil, comme on le peut voir par HEI, *fig.* 5 ; et par cette raison sa grandeur apparente, généralement parlant et eu égard à ces seuls effets optiques ; diminue comme la distance augmente ; c'est-à-dire que son image dans l'œil est une fois plus petite en tout sens, quand on le regarde d'une fois plus loin.

» Lorsque cette image est diminuée au-delà d'un certain point, ou nous perdons de vue l'objet entièrement, ou nous ne le voyons plus que confusément, parce qu'alors ses différentes parties ne se peignent plus sur des endroits de l'organe assez séparés les uns des autres : on prétend que la vue humaine cesse d'être distincte, lorsque les angles optiques commencent à avoir moins qu'une minute de dégré (1).

» Si cette évaluation est juste, on peut croire que les animaux de différentes espèces qui ont les yeux ou plus grands ou plus petits que les nôtres perdent les objets de vue, les uns plus tôt, les autres plus tard que nous ; car l'amplitude de l'image qui, considérée dans le même œil, ne dépend que de la grandeur des angles optiques, doit varier du plus petit au plus grand œil, comme la distance qu'il y aura entre l'endroit où se croisent les rayons et celui où ils aboutissent pour peindre l'objet : ainsi l'image qui n'aurait que la grandeur qu'il faut pour un œil tel que DD

(1) Selon le docteur Hook, un objet dans le ciel devient invisible à un observateur, lorsqu'il comprend dans son œil un angle moindre qu'une demi-minute. *Remarques sur la machine céleste d'Hevelius*, pag. 8. Pour des objets moins lumineux, il faut que l'angle soit plus grand.

serait trop petite, quoique sous le même angle, pour un autre œil dont le fond serait GG; et plus que suffisante pour celui dans lequel elle pourrait aller jusqu'en FF, à moins que la nature, obligée de proportionner les yeux à la petitesse de certains animaux, n'ait suppléé au défaut d'étendue par la délicatesse des fibres destinées à recevoir les impressions de la lumière, comme il semble qu'on le doive présumer, quand on considère qu'un perdreau n'échappe point au coup d'œil d'un oiseau de proie qui plane dans l'air à cent pieds au-dessus de lui.

» Puisque l'éloignement seul de l'objet suffit pour nous le faire voir sous des angles plus aigus, il est aisé de comprendre pourquoi nous avons égard à la distance pour juger de sa grandeur. Nous apercevons dans la campagne un animal que nous sommes tentés de prendre pour un mouton ou pour autre chose de plus petit encore, à cause du peu de volume que nous trouvons à cet objet; mais parce que nous apercevons en même temps un quart de lieue de distance entre nous et lui, il nous vient en pensée que ce peut être un cheval ou une vache; et si cette distance nous était cachée ou inconnue, les grandeurs apparentes ne suffiraient pas pour nous instruire des grandeurs réelles, surtout s'il s'agissait d'objets nouveaux ou que nous n'eussions jamais vus de près : c'est ce qui arrive fréquemment aux personnes qui voyagent par hazard ou pour la première fois dans les montagnes, et qui portent la vue de l'une sur l'autre, sans savoir ou sans faire attention qu'elles sont séparées par une large vallée : c'est ce qui induit aussi en erreur ceux qui aperçoivent inopinément quelque objet isolé, il leur faut du temps pour le reconnaître; cela vient de ce que l'on sait, au moins implicitement et par habitude, que la grandeur apparente diminue à mesure que l'œil s'éloigne de l'objet, et que par conséquent on ne peut dire combien cet objet est grand en lui-même, à moins qu'on ne sache à peu près de quelle quantité il est éloigné.

» Comme le dégré de distance, quand nous le connaissons,

nous aide à bien juger de la grandeur d'un objet que nous ne connaissons pas, réciproquement l'objet connu et familier nous apprend par sa grandeur apparente la distance qui est entre lui et nous, jamais cependant avec précision, mais presque toujours avec un à peu près qui suffit. Un homme, un cheval, un arbre, une maison, etc., que j'aperçois sous une grandeur bien au-dessous de celle que je lui connais, me fait juger sans erreur considérable que j'en suis à un certain éloignement. Il n'en est pas de même si ce que je vois ainsi de loin est d'un volume auquel je ne m'attends pas : si l'on transporte, par exemple, dans les Pyrénées ou dans les Alpes, un parisien qui n'ait jamais vu que Montmartre ou le Mont-Valérien (1), il ne manquera pas d'estimer à deux ou trois lieues de lui une montagne qui en sera éloignée de plus de douze, parce que n'ayant aucune idée de ces masses énormes, il ne peut pas savoir combien leur grandeur apparente diffère de leur grandeur réelle pour en conclure leur distance. En pareil cas, ce n'est qu'en considérant les objets intermédiaires et les dégradations de lumière qui suivent toujours les grands éloignemens, qu'on parvient à se persuader de la grande distance.

» Lors même que l'objet éloigné nous est connu, tout ce qui se trouve placé entre lui et nous ne contribue pas peu à nous faire connaître son dégré d'éloignement : l'œil parcourt tous ces objets intermédiaires, et additionnant, pour ainsi dire, leurs distances respectives, il en fait une somme totale ; quand cela ne se peut pas faire, ou que par précipitation cela ne se fait pas, on estime ordinairement la distance au-dessous de ce qu'elle est ; c'est pourquoi les gens qui n'ont point contracté l'habitude de voir en mer, croient apercevoir à deux ou trois lieues d'eux une île qui en est à plus de dix, car l'espace qui les sépare de cette île étant une plage uniforme, l'œil n'y rencontre rien dont il puisse se servir pour les diviser, il ne peut en distinguer

(1) Deux petites montagnes des environs de Paris.

les parties pour les compter. Il en est à peu près de même de ce que l'on voit au bout d'une grande prairie ou d'une plaine qui n'est interrompue ni par des arbres, ni par des maisons, ni par aucun autre objet remarquable ; et s'il est vrai qu'on frappe moins sûrement qu'ailleurs les oiseaux qu'on tire sur un étang, ce n'est pas, comme on le dit communément, que le plomb y conserve sensiblement moins de vîtesse qu'en plein champ (car j'en ai fait l'épreuve exprès) ; mais c'est plutôt parce que, n'estimant pas bien la distance, on tire de trop loin sans le savoir, et souvent sur des animaux dont la plume et la peau sont plus difficiles à percer que celles d'une perdrix ou d'une caille.

» C'est encore par les angles visuels que nous jugeons de l'éloignement respectif de deux objets aperçus en même temps : ils sont à l'égard de l'œil comme les deux points extrêmes d'un seul et même corps.

» Voilà pourquoi, lorsque nous entrons dans une avenue un peu longue, elle nous semble plus étroite et plus basse à l'autre extrémité, quoique les arbres dont elle est formée soient partout également hauts, et que les rangs soient bien parallèles entr'eux ; car on peut voir par la *fig.* 6 que les rayons qui viennent à l'œil des arbres les plus éloignés, pris deux à deux, forment des angles plus aigus que ceux qui arrivent de plus près : et il en est de même de ceux qui viennent du pied de chacun de ces arbres et du sommet.

» On peut dire la même chose en général de tous les objets qui sont fort longs et terminés par des lignes, ou par des plans parallèles : une grande prairie renfermée entre deux canaux, une pièce d'eau fort étendue, nous paraîtront toujours plus étroites à l'endroit le plus éloigné de nos yeux, quoique l'une ou l'autre soient exactement formées en carrés longs. Quand nous entrons dans une galerie, elle nous semble plus basse à l'autre bout, parce que l'angle visuel qui embrasse la distance du plancher au plafond devient nécessairement plus petit, quand cette dimension ou cet intervalle est pris dans un endroit plus éloigné de l'œil.

» Lorsque ces sortes d'objets ne présentent au spectateur qu'un plan ou une ligne, telle que serait une muraille ou une file de soldats, l'œil qui se place à un bout, et un peu de côté, de manière à tout découvrir, comme dans la *fig.* 7, supplée au rang ou au côté parallèle qui manque; par la direction de son regard, il rapporte à la ligne P, Q, qui est comme l'axe prolongé du globe de l'œil, les différens points de l'objet 1, 2, 3, 4, etc., et ces points paraissent se rapprocher de cette ligne, suivant la diminution de l'angle que fait avec elle le rayon qui vient de chacun de ces points visibles : de là il arrive qu'ils semblent former par leur suite une ligne inclinée à P, Q, selon l'ordre des chiffres 1, 2, 3, 4, etc.

» C'est par cette raison qu'étant placé à la tête d'un canal ou d'un étang, au lieu de voir la surface de l'eau horizontale, comme elle l'est en effet, on s'imagine toujours qu'elle s'élève à mesure qu'elle s'éloigne davantage. C'est encore pour cela que quand nous côtoyons un mur en marchant, quelque droit et parallèle qu'il soit à notre route, nous le voyons toujours comme incliné vers elle; et si couchés sur le dos à quelques pieds de distance d'une tour ou d'une muraille un peu élevée, nous la considérons de bas en haut, elle nous paraît penchée du côté où nous sommes d'une manière à effrayer quiconque ignorerait qu'elle est véritablement d'à-plomb.

» Un objet qu'on regarde de loin s'aperçoit rarement sous sa vraie figure; car la figure d'un corps, c'est l'ordre que ses parties gardent entre elles, et cet arrangement, cette position respective des points visibles change dans la représentation ou l'apparence de l'objet, suivant la manière dont ses dimensions se présentent à l'angle visuel. Si l'on aperçoit à une lieue de distance, par exemple, et de quelque endroit un peu élevé, un rang d'arbres plantés, comme RR, *fig.* 8, on les voit tous alignés dans la même direction, et à peu près également espacés entr'eux, comme ils le sont en effet; parce que tous les angles visuels qui les comprennent deux à deux diffèrent peu les uns des autres : ce qui fait que l'image de ce rang d'arbres tracée au fond de l'œil est assez conforme à son objet.

» Mais si ces mêmes arbres bordaient une demi-lune, comme S, T, V, *fig.* 9, on les verrait toujours rangés dans la ligne droite S V, plus serrés seulement aux extrémités que vers le milieu; car à un tel dégré d'éloignement, les pyramides de lumière qui nous viennent des différens points de l'objet ne diffèrent point assez par la divergence de leurs rayons, pour nous faire sentir que les arbres du milieu sont plus près de nous que ceux des extrémités; et les angles visuels qui nous rapportent ce qui est vers S et vers V, étant plus petits que les autres, il suit que deux de ces arbres pris aux extrémités nous doivent paraître plus près l'un de l'autre, que deux de ces mêmes arbres qui seraient pris vers T. Le soleil et la lune qui sont de vrais globes, n'offrent à nos yeux que des plans circulaires et lumineux, comme s'ils étaient de simples disques; parce que toutes les lignes qui forment leurs surfaces convexes se présentent à nous comme le rang d'arbres S T V, dont je viens de parler, c'est-à-dire, comme des lignes droites.

» Quant aux objets qui sont composés de lignes droites ou de surfaces planes, s'ils sont fort grands, leur figure apparente nous trompe, par cela seul que leurs différentes parties se voient à des distances plus grandes les unes que les autres; ce qui ne manque pas de nous représenter leurs dimensions sous des rapports différens de ceux qu'elles ont réellement: ainsi une pièce d'eau bien carrée ne se voit pas sous cette forme, elle paraît plus étroite à son extrémité la plus éloignée de l'œil; mais indépendamment de cette cause, il arrive souvent, et presque toujours, que certaines dimensions de l'objet se représentent obliquement aux angles visuels, tandis que d'autres reçoivent plus directement nos regards, et cela occasionne encore des apparences qui s'écartent de la réalité. Si, par exemple, de la terrasse d'un jardin je regarde dans la campagne une pièce de blé vert, dont la largeur s'offre à mes yeux comme A B, *fig.* 10, et la longueur comme la ligne A G, je la verrai sous une figure plus courte que celle qu'elle a réellement; parce que dans l'image optique de cet objet la

longueur, au lieu de rester égale à la largeur, est comprise sous un angle plus petit, et se réduit comme A *a*.

» Il est aisé de comprendre maintenant que les différens aspects peuvent non seulement changer en apparence les grandeurs de certains côtés, en laissant subsister les autres, à cela près des changemens causés par les distances, mais même les effacer entièrement; de manière qu'un solide se voie comme un plan, un plan comme une ligne, une ligne comme un point. Ainsi l'on peut prendre de loin un bloc de marbre blanc pour une serviette étendue, s'il est placé devant l'œil de manière à ne lui laisser voir qu'une de ses faces : on ne voit plus la girouette, mais seulement sa tige, lorsqu'elle se trouve précisément dans le plan de l'angle visuel qui mesure sa hauteur; enfin nous ne voyons qu'une tache noire terminée par un cercle de bronze, quand nous regardons directement l'embouchure d'un canon.

» Ceux qui s'appliquent à dessiner la perspective, ne sauraient trop méditer sur la variation des angles optiques causée ou par la distance des objets, ou par les différens aspects sous lesquels ils se présentent à l'œil; car comme tout leur art consiste à bien représenter les objets de la vision, qui dépendent principalement des angles dont il s'agit, ils ne peuvent travailler avec succès, s'ils ne savent ou par principes, ou au moins par routine, ce que je viens d'enseigner à ce sujet; et ce n'est point encore assez pour eux, le tableau qui porte les images ayant pour l'ordinaire une situation tout-à-fait différente du plan horizontal, dans lequel la plupart des objets sont vus lorsqu'on les dessine, il faut non-seulement que le peintre ou le dessinateur ait égard à la valeur des angles relative au point de vue, pour savoir à quoi se réduisent telles ou telles dimensions, telles ou telles distances, mais qu'il considère encore la coupe de ces mêmes angles par un plan qui prendrait la place et la situation que doit avoir le tableau, pour connaître au juste les espaces dans lesquels il doit renfermer les différentes parties de l'objet ou du terrein qu'il veut représenter. Si, par exemple, il s'agit

d'un rang d'arbres aperçus dans la ligne BF, *fig.* 11., il ne suffit pas de savoir que cette ligne est comprise sous l'angle E G F; l'artiste doit faire attention que, vue sous le même angle dans un plan vertical, tel que sera son dessin ou son tableau, elle sera réduite dans l'espace *e f*, et que ses parties les plus éloignées de l'œil décroîtront dans la même proportion, ce qui exige que le premier arbre soit dessiné plus grand que le second, et le troisième plus petit encore que celui-ci.

» On voit par là, que les objets fort écartés l'un de l'autre sur un plan horizontal, se rapprochent beaucoup lorsqu'on les dessine en perspective sur un plan vertical. Réciproquement, si l'œil ne changeait pas de place, et que le tableau fût couché dans une situation horizontale, comme E F, l'objet peint au naturel dans l'espace *e f* ne pourrait plus se distinguer, à moins que le peintre, en recommençant le dessin, n'en étendît les parties dans la même proportion que le sont celles de la ligne E F; alors l'œil placé en G verrait distinctement l'objet et dans ses justes proportions; mais de partout ailleurs, on ne le verrait que confusément et défiguré : on voit tous les jours de ces illusions d'optique préparées à dessein dans les cabinets des curieux.

» Tout ce que j'ai dit jusqu'à présent de la situation, de la figure apparente des objets, doit s'entendre aussi de leurs mouvemens visibles. Un corps que nous voyons se mouvoir, c'est un objet dont l'image change de place dans l'œil, à mesure qu'il passe lui-même d'un lieu dans un autre : on doit concevoir que tous les rayons qui tracent cette image mobile, sont autant de lignes droites qui se croisent dans la partie antérieure de l'œil, comme je l'ai expliqué plus haut, et qui de plus tournent d'un mouvement commun autour du point même de leur croisement; de sorte qu'en s'avançant vers le fond de l'œil, elles portent leurs impressions de gauche à droite, quand l'objet extérieur qu'elles représentent passe de droite à gauche.

» Les mouvemens, ainsi que les parties de l'objet visible, se peignent donc au fond de l'organe dans un ordre ren-

versé. L'expérience de l'œil de veau, dont j'ai fait mention ci-dessus, prouve également l'un et l'autre. Si l'on a bien conçu comment des rayons qui se croisent avant de toucher le fond de l'œil nous font voir l'objet dans sa situation naturelle, on n'aura pas de peine à comprendre pourquoi nous voyons aller de droite à gauche un corps dont le mouvement progressif se trace de gauche à droite sur l'organe; car en rapportant toujours chaque point de l'objet aperçu au bout du rayon qui nous le fait sentir, tandis que ce rayon tourne comme l'aiguille d'une pendule sur un des points de sa longueur, pour suivre l'objet dans toutes ses apparitions successives, c'est une nécessité que le bout qui touche le fond de l'œil aille en sens contraire de l'autre, et que nous jugions le mouvement qui s'exécute au dehors dans une direction tout opposée à celle que suit sa représentation.

» Quant à la vitesse du mouvement, nous la mesurons par le temps qui s'écoule et par l'espace que nous voyons parcourir à l'objet; mais cet espace ne paraît pas toujours tel qu'il est. Nous en jugeons naturellement comme de la grandeur, par l'ouverture des angles visuels qui le comprennent en totalité ou par parties; et cette évaluation, pour être juste, dépend principalement de deux conditions : la première, que nous connaissions la distance qu'il y a entre nous et le corps dont notre œil suit le mouvement; car en regardant un homme qui marche dans la campagne, si nous le voyons dans la ligne IK, *fig.* 12, lorsqu'il est plus loin dans la route LM, par exemple, nous trouverons sa marche plus lente qu'elle n'est en effet, puisque dans un temps donné il nous paraîtra parcourir l'espace IK, plus petit que LM qu'il parcourt réellement.

» La seconde condition est que l'espace parcouru par l'objet ne se présente point obliquement à nos regards comme IM, car, en pareil cas, nous estimerions encore cet espace au-dessous de sa juste valeur; nous serions fortement tentés de croire qu'un homme qui serait allé par la route IM n'aurait fait que le chemin IK qui est bien plus court, et nous ne

pourrions éviter cette erreur qu'en ayant égard à certaines circonstances qui ne se rencontrent pas toujours ou qui ne sont point assez remarquables, quand les mouvemens qu'on examine se passent au loin.

» Par la même raison, deux hommes qui marchent à pas égaux, l'un par la route LCM, l'autre par IHK, paraîtront aller avec des vîtesses inégales; le dernier aura l'air de précipiter sa marche davantage, ou d'allonger le pas plus que le premier; il pourrait même arriver, et cela se conçoit aisément, que celui qui paraît faire le plus de diligence, allât réellement avec moins de vîtesse que l'autre.

» Le mouvement devient insensible à la vue, lorsque les espaces parcourus dans chaque seconde de temps répondent à des angles visuels qui n'excèdent pas 20 secondes de dégré: l'œil le plus fin et le plus attentif ne voit pas même se mouvoir l'aiguille qui marque les heures au cadran d'une pendule, quoiqu'elle chemine plus vîte que dans cette proportion: sur quoi il est bon de remarquer que la plus grande vîtesse peut devenir insensible par la distance excessive qui se trouverait entre le mobile et l'œil; car, par exemple, si les rayons PL, PN étaient tellement longs, qu'un espace de 200 toises pris sur la ligne LM ne répondît qu'à un angle de 18 ou 20 secondes de dégré, un corps qui serait dans cet éloignement par rapport à l'œil, et qui aurait toute la vîtesse d'un boulet de canon, y paraîtrait comme immobile; et voilà pourquoi nous n'apercevons pas d'une seconde à l'autre le mouvement du soleil ni même celui de la lune, quoiqu'ils soient tous deux beaucoup plus rapides que celui d'un boulet chassé par l'effort de la poudre.

» Quand je cite la révolution diurne du soleil ou celle de la lune, je n'entends parler que des traces qui pourraient s'en former dans l'œil du spectateur; elles seraient les mêmes, soit que l'astre se mût en effet ou seulement en apparence; car, en général, que l'œil tourne devant l'objet fixe, ou que l'objet mobile lui-même passe d'un côté à l'autre devant l'œil, l'image change également de place au fond de cet

organe, et ses mouvemens reçoivent les mêmes modifications : c'est pour cela qu'étant sur l'eau, si l'on ne fait point attention au déplacement continuel du bateau dans lequel on est, on attribue au rivage et aux objets les plus fixes tous les mouvemens apparens qui résultent des différentes positions par lesquelles les yeux passent.

» Si le mobile suit toujours la même direction, il décrit une ligne droite, et nous l'y pouvons suivre de la vue, pourvu que les points de cette ligne, sur lesquels se font les apparitions successives, puissent être rapportés distinctement par les angles optiques, ou, ce qui est la même chose, pourvu que des différens points pris sur cette ligne, il puisse venir à l'œil du spectateur des rayons qui forment des angles suffisamment ouverts ; car si ces angles sont nuls ou par trop aigus, comme il arrive quand l'objet vient droit à nous, ou s'en éloigne de même dans le lointain, alors le mouvement est insensible : ce que nous voyons ainsi nous semble rester en place, et ce n'est qu'après un certain temps qu'il nous paraît s'être approché, parce que nous le voyons plus grand, plus éclairé, plus distinct qu'auparavant.

» Le corps qui, en s'avançant, change souvent et insensiblement de direction, décrit une ligne courbe que nous distinguons fort bien, quand nous pouvons voir le plan qu'elle termine ; mais la courbure, soit qu'elle se présente par sa convexité, comme QRS, ou par sa concavité, comme TVX, *fig.* 13, ne s'aperçoit point, si l'axe de la vision YV se trouve dans le même plan : ainsi, lorsque vous voyez de loin tourner un lustre, auquel on n'a laissé qu'une bougie allumée, vous vous imaginez que cette lumière (qui décrit pourtant une circonférence de cercle RTVX) ne fait que se mouvoir alternativement de droite à gauche et de gauche à droite dans le diamètre TX ; et, par la même raison, quand vous regardez de côté un moulin à vent à une certaine distance, vous ne voyez qu'un mouvement de bas en haut ou de haut en bas, qui ne vous rappelle nullement les révolutions circulaires de ses ailes.

» En parlant de la grandeur apparente des objets, j'ai toujours supposé que nous en jugions par les angles visuels, eu égard au dégré d'éloignement; et c'est là, à mon avis, la première intention de la nature, puisque, par le moyen de ces angles, l'image de l'objet, l'impression qu'il fait sur l'organe, se met en proportion de grandeur avec lui, et se modifie selon la distance et selon la manière dont cet objet se présente. Dire, comme un auteur célèbre de notre temps, *que ces effets sont des circonstances qui accompagnent la vision, plutôt que des principes qui lui servent de règles*, c'est oublier, ce me semble, une vérité dont tout le monde convient; savoir : que, dans l'exercice de tous nos sens, l'amplitude, aussi bien que la force des impressions qui se font sur nos organes, nous guident pour juger de la grandeur et du plus ou moins de proximité des objets qui les font naître. Il est vrai, par rapport à la vue surtout, que nous dérogeons souvent à la loi générale, et que, dans bien des cas, ce que nous voyons nous donne l'idée d'une grandeur qui n'est point proportionnée à l'image qui s'en trace au fond de nos yeux; mais cela vient de quelques causes particulières dont il est à propos de dire un mot.

» Je regarde un homme qui est à 100 pas de moi : suivant la règle des angles visuels, il devrait me paraître une fois plus petit que je ne le verrais à 50 pas, car son image dans le fond de mon œil diminue dans cette proportion; cependant il me semble, dans l'un et dans l'autre cas, de la même grandeur : c'est qu'étant fortement prévenu qu'un homme fait n'a pas communément moins de 5 pieds de haut, et apercevant dans son extérieur tout ce qui donne l'air d'un adulte, je cède sans y prendre garde à ces connaissances intimes et familières qui l'emportent sur les limites de la sensation et maîtrisent mon jugement. Vous regardez de loin un arbre qui est auprès d'une maison, et vous estimez sa hauteur 25 ou 30 pieds, parce qu'il vous paraît aussi haut que cette maison, et que vous savez d'ailleurs qu'un tel édifice n'est guère moins élevé que de 4 à 5 toises; si l'arbre

était isolé en rase campagne, vous le prendriez pour un buisson. Une personne qui, pour la première fois, porte la vue en pleine mer, prend volontiers pour une barque de pêcheur ce qu'un officier de marine reconnaît d'abord pour être un bâtiment considérable ; celui-ci en juge, non seulement par la grandeur apparente, mais encore par certaines parties qu'il sait distinguer mieux qu'un autre, par l'affaiblissement de la lumière et des couleurs, ce qui joint à l'habitude de voir pareils objets de plus près, lui fait sentir avec assez de justesse le dégré d'éloignement de celui-là, et par conséquent la grandeur qu'on doit conclure de l'angle sous lequel on l'aperçoit.

» Mais, dira-t-on, si la vision nécessaire, celle qui nous conduit à connaître les objets pour ce qu'ils sont, dépend de ces comparaisons raisonnées et de ces connaissances réfléchies, comment se fait-il qu'un paysan voie comme un homme bien instruit ? Et pourquoi les animaux de toute autre espèce que la nôtre, sans réfléchir et sans raisonner, distinguent-ils comme nous ce qu'il leur importe de bien voir ? Car il faut bien que cela soit ; autrement est-il vraisemblable qu'un lièvre prît la fuite avec tant de frayeur et de précipitation devant le chasseur qu'il aperçoit à cent pas de lui, si celui-ci, selon le rapport des angles optiques, lui paraissait comme un pigmée de quelques pouces de hauteur ?

» Pour répondre à ces objections, il faudrait pouvoir faire sentir à quiconque l'ignore quelle est la force de l'habitude : quoique dans la vision des objets, les impressions qui se font sur l'organe soient réellement suivies des pensées, des jugemens, des raisonnemens de l'ame, accoutumés dès notre plus tendre enfance, et continuellement exercés à juger sur de pareils rapports, nous parvenons de bonne heure à le faire avec une si grande facilité, que l'instant de la délibération, devenu insensible dans les cas ordinaires, n'existe plus, pour ainsi dire, que virtuellement : mais il n'en a pas toujours été de même ; c'est l'habitude de voir

insensiblement acquise qui nous a conduits à voir si promptement, et cette habitude vient à l'homme le plus stupide, au moins sur un certain nombre d'objets.

» Si l'on veut se convaincre de cette vérité, il n'y a qu'à réfléchir un peu sur ce qui se passe, lorsqu'on apprend à voir quelque objet particulier ; en considérant, par exemple, avec quelle aisance un musicien chante, à livre ouvert, ce qu'il n'a jamais ni vu ni entendu : ne croirait-on pas qu'il ne délibère aucunement sur la valeur des notes, et qu'il ne se passe absolument rien entre le coup-d'œil et la prononciation ? Il y a pourtant entre l'un et l'autre une action de l'ame, un jugement fondé sur la figure et la position bien distinguée de chaque signe ; délibération, à la vérité, si prompte, qu'elle ne se laisse pas apercevoir à la personne même qui délibère, mais qui n'est devenue telle qu'après avoir été long-temps lente et fastidieusement sensible.

» Ce que je dis d'un livre de musique, on peut l'appliquer à tout autre objet. L'officier de marine, qui juge dans l'instant et assez bien de la grandeur d'un bâtiment qui est à cinq ou six lieues en mer, n'a pas toujours eu le coup-d'œil ni aussi prompt, ni aussi sûr ; et celui qui s'y trompe aujourd'hui, après avoir long-temps mal vu, ne s'en rapportant qu'aux angles visuels, ou s'y fiant trop, deviendra plus habile à force de réflexions, et en acquérant des connaissances qui influeront, sans qu'il y pense, dans l'estimation qu'il fera de pareils objets.

» Quant à l'autre difficulté, elle disparaît si on remarque que nous ne jugeons jamais les grandeurs des objets extérieurs que par comparaison, et que, quelque petit que soit l'œil d'un animal, les images qui s'y forment gardent toujours le même rapport, de sorte qu'un objet plus grand donne toujours une image plus grande.

» Un jeune anglais de 13 ans vit clair pour la première fois de sa vie, par le secours et par les soins de M. Cheselden, habile chirurgien de Londres, qui lui abattit des cataractes ; et M. Smith, dans son traité d'optique, raconte que ce nou-

veau clair-voyant ne pouvait juger d'abord ni de la grandeur, ni de la figure des objets, et qu'il n'y parvint qu'au bout d'un certain temps : cela prouve-t-il, comme on l'a prétendu, que les angles optiques ne servent à rien dans la vision? J'ai peine à le croire : tout ce qu'on en peut inférer, selon moi, c'est que ces angles ne déterminent point la grandeur de l'objet pour quiconque ignore à quelle distance il est de l'œil, comme je l'ai établi ci-dessus. Or, cette dernière notion ne nous vient que par expérience et par habitude; par conséquent il faut du temps pour l'acquérir. Le jeune homme qu'on nous cite aurait peut-être vu comme un autre dès le premier moment; il aurait su comparer plusieurs grandeurs entre elles, s'il avait eu l'idée des distances et de leurs différences.

» Si les angles optiques ne font rien à la vision, s'ils n'en sont que les circonstances très-indifférentes, comme on l'a voulu établir, qu'on m'apprenne donc pourquoi, lorsqu'ils sont agrandis artificiellement par le moyen de quelque verre ou autrement, je ne manque point de voir l'objet plus grand? Quand je montre pour la première fois à un enfant une puce au microscope, et qu'il la trouve aussi grosse qu'un hanneton, peut-on dire que cette idée lui vienne du préjugé de l'habitude, du dégré de clarté, de la comparaison qu'il en fait avec les objets circonvoisins, etc.? N'est-il pas incontestable que cet enfant voit ainsi, parce que l'image de l'objet est amplifiée au fond de l'œil, ou, ce qui est la même chose, parce qu'il aperçoit cet objet sous un plus grand angle? Tenons-nous-en donc à ce qu'on a toujours dit, que les idées de grandeur, de situation, de figure excitées en nous par l'image des objets, tiennent, avant toutes choses, aux angles visuels et à la position respective des rayons qui les forment; et que, s'il est des occasions où le préjugé, les connaissances précédemment acquises, le dégré de clarté, etc. (1), entrent en considé-

(1) Les objets se présentent ordinairement à nos yeux avec d'autant plus de clarté, qu'ils sont plus près de nous; l'habitude de les voir

ration, modifient ces idées, et nous empêchent de voir les objets tels qu'ils nous sont représentés par ces angles, ce sont autant d'exceptions qu'on ne doit pas mettre à la place de la règle générale ».

Catoptrique.

Quand un rayon de lumière rencontre un corps poli, il agit sur lui de manière à rendre, comme nous l'avons dit précédemment, sa surface lumineuse ; ce corps agissant ensuite, de même qu'un corps lumineux, modifie notre organe et occasionne en nous la sensation de la vision, dans quelque direction que nous soyons placés. Toutefois, il ne brille que que d'une lumière très-faible, excepté dans une direction unique suivant laquelle son action est presque aussi intense que celle du corps lumineux lui-même ; cette direction se nomme le *rayon réfléchi.* La position du rayon réfléchi relativement à la surface du corps poli varie avec celle du rayon direct ou *incident ;* elle est toujours telle que la perpendiculaire à la surface réfléchissante fait avec les deux rayons des angles égaux qu'on nomme angles d'*incidence* et de *réflexion* (1), et est avec eux située dans un même plan. Cette loi peut être constatée facilement par l'expérience suivante :

« La *fig.* 14 représente (2) un cercle de matière solide qui a 26 pouces de diamètre : il est élevé verticalement sur un pied qui se hausse et se baisse quand il le faut ; il tourne sur son centre, mais de manière qu'il reste de lui-même

ainsi nous porte à croire que ces mêmes objets sont fort éloignés quand ils sont plus sombres, moins lumineux que de coutume.

(1) On nomme aussi angle d'incidence celui que le rayon incident forme avec la surface du miroir, et angle de réflexion celui du rayon réfléchi et de la même surface ; les premiers étant égaux, ceux-ci le sont évidemment aussi comme en étant les complémens.

(2) Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale.

dans toutes les situations qu'on lui fait prendre. La circonférence est divisée en 4 quarts, et chaque quart en 90 dégrés, à commencer par deux points diamétralement opposés. Cette circonférence graduée est élevée par quatre petits pieds d'environ trois lignes au-dessus du plan du cercle, et porte deux curseurs, à l'un desquels est attachée une platine de cuivre A de 4 pouces en carré, perpendiculaire au plan du cercle, et percée au milieu d'un trou rond de deux pouces de diamètre, avec un drageoir, pour recevoir ou des verres de différentes espèces, ou des diaphragmes percés de diverses manières; l'autre curseur B porte un chassis de 3 pouces de large sur 6 de long, garni d'un papier huilé, et courbé suivant la circonférence du grand cercle, aux divisions de laquelle répondent des lignes tracées sur la largeur du papier transparent. C, D sont deux petits piliers à coulisses élevés perpendiculairement sur le plan du cercle, pour recevoir successivement trois miroirs de métal de 6 pouces de long sur deux de large, dont un est plan et les deux autres courbes selon leur longueur, comme pour s'ajuster à la circonférence d'un cercle de deux pieds de diamètre : de ces deux derniers miroirs, l'un est poli par sa surface concave et l'autre par sa surface convexe; et quand un des trois est en place, la ligne *ef*, tracée sur le cercle, tombe perpendiculairement au milieu de sa longueur.

» Cette machine étant ainsi préparée et garnie du miroir plan, se place dans une chambre fermée de toutes parts, et dans laquelle il n'entre d'autre lumière qu'un rayon du soleil gros comme le doigt, qu'on fait passer à midi ou dans quelque autre heure qui n'en soit pas trop éloignée, par un trou pratiqué au volet de la fenêtre : il faut poser le cercle de manière que le rayon rasant sa surface tombe obliquement sur le milieu du miroir et vis-à-vis la ligne *ef*; ensuite on fait glisser le curseur avec la platine A, jusqu'à ce que, recevant le rayon total, elle en transmette une partie par le trou d'un diaphragme de cuivre mince dont elle doit être garnie pour cette expérience.

» Voici ce qu'on observe :

» 1.° Le rayon solaire qui passe ainsi jusqu'au miroir rejaillit dans la partie opposée du même plan, et formé sur le chassis transparent une image lumineuse et ronde comme le trou par lequel il a passé dans la platine A ; et si l'on observe à quel dégré répond le centre de cette image sur la circonférence du grand cercle, on trouve qu'il est autant éloigné du point *e*, que l'est dans la partie opposée le centre du trou par lequel il a été reçu.

» 2.° Si l'on fait tourner le cercle et glisser la platine A de manière que le rayon tombe moins obliquement sur le miroir, on trouve que l'image formée par le rayon réfléchi sur le chassis transparent, s'approche du point *e* dans la même proportion.

» 3.° Si le cercle est tourné de façon que le rayon incident suive la ligne *ef* pour aller au miroir, alors on ne distingue plus de rayon réfléchi ; il rejaillit de dessus le miroir par la même ligne qu'il suit en tombant.

» On peut embrasser ces trois résultats dans cette proposition générale déjà énoncée plus haut : *La lumière, lorsqu'elle est réfléchie, fait toujours l'angle de sa réflexion égal à celui de son incidence* ».

Pour concevoir la cause de la réflexion de la lumière, il faut remarquer que les atomes de la surface du miroir ou corps poli n'éprouvent pas tous une action également intense de la part du corps lumineux ; le mouvement de chacun d'eux est plus ou moins accéléré suivant sa position par rapport aux rayons de lumière. Cela posé, considérons une collection d'atomes comprenant ceux dont les positions favorisent le plus l'action du rayon lumineux, et imaginons que le corps lumineux se refroidisse subitement : pendant quelques instans, le miroir serait encore illuminé (*voy.* pag. 5) et illuminerait tous les corps voisins, mais plus ou moins fortement, suivant leurs directions. Les attractions étant toujours réciproques, il est évident que la collection dont il s'agit exercerait son action *maximum* sur le corps lumi-

neux devenu obscur, et qu'il serait éclairé plus que tous les corps voisins; et comme, de l'autre côté de la perpendiculaire à la surface réfléchissante, il existe toujours une ligne située par rapport à cette surface, et par conséquent à la collection d'atomes, considérée absolument de la même manière que le rayon incident, il y aurait en outre illumination *maximum* dans cette seconde direction qui serait précisément le rayon réfléchi observé dans l'expérience précédente. Maintenant, si nous revenons à la réalité, rien ne sera changé, si ce n'est que l'action du corps lumineux perpétuera les effets et empêchera d'apercevoir le rayon réfléchi qui coïncidait avec le rayon direct, et qui, dans l'hypothèse faite plus haut, illuminait le corps lumineux devenu obscur.

La loi que nous venons d'expliquer est le fondement de toute la catoptrique; nous n'aurons plus désormais qu'à en faire des applications aux effets des miroirs. Comme ces effets dépendent de leur forme, nous considérerons successivement 1.° les miroirs plans, 2.° les miroirs sphériques convexes, 3.° les miroirs sphériques concaves; nous terminerons par quelques mots sur les miroirs ayant d'autres formes et sur les surfaces non polies.

Des miroirs plans. Les rayons lumineux peuvent être parallèles entre eux, divergens ou convergens : quelles que soient leurs positions relatives, un miroir plan qui les reçoit ne change aucunement leur parallélisme, leur convergence ou leur divergence en les réfléchissant.

Pour admettre cette proposition, il suffit d'examiner les *figures* 15, 16 et 17, dans lesquelles ab représente le miroir; cd, ef deux rayons incidens, et dc', fe' les rayons réfléchis, et d'en comparer les diverses parties.

Dans la *fig.* 15, cd étant parallèle à ef, les angles cda, efa sont égaux. Maintenant l'angle de réflexion $c'db$ égale l'angle d'incidence cda, de même $e'fb$ égale efa; on aura donc aussi angle $c'db$ = angle $e'fb$, et par conséquent les

rayons réfléchis *dc'*, *fe'* sont parallèles, de même que les rayons incidens.

Dans la *fig.* 16, les rayons incidens *cd*, *ef* sont divergens; et si on enlevait le miroir, ils continueraient leur route suivant *dm* et *fn*, en s'écartant toujours de plus en plus. On prouve facilement qu'après la réflexion leur divergence n'est pas changée; il suffit pour cela de concevoir la fig. pliée suivant *ab*; *dm* s'appliquerait sur *dc'*, car les angles *bdm* et *bdc'* ont la même grandeur, puisqu'ils égalent tous deux l'angle *cda*, l'un comme lui étant opposé par le sommet, l'autre par suite de la loi de la réflexion de la lumière; par les mêmes raisons *fn* s'appliquerait sur *fe'*, et il suit de là évidemment que la divergence n'est pas changée.

Par un raisonnement entièrement semblable, on prouverait, au moyen de la *fig.* 17, que les rayons convergens conservent leur convergence.

Applications. « La surface (1) d'une eau claire et tranquille fut sans doute le premier modèle des miroirs; mais on peut dire que l'art, en imitant la nature, l'a de beaucoup surpassée dans cette partie; car, outre que les plaques de métal polies par lesquelles on a commencé, et les glaces étamées qu'on leur a substituées depuis, représentent les objets d'une manière bien plus vive, ces merveilleuses inventions ont encore sur ces miroirs fluides l'avantage d'avoir transporté dans nos appartemens, tant pour la décoration que pour l'utilité, des effets qui eussent été restreints à peu d'usages, et qui se passaient le plus souvent sous des yeux qui n'en sentaient pas toute la beauté. Le philosophe le plus sévère se déride aujourd'hui dans la maison d'un homme opulent, lorsqu'entouré de glaces richement encadrées et placées avec intelligence, il aperçoit partout son portrait et ses mouvemens, du monde, des bâtimens, des jardins immenses au-delà d'un mur, où il sait qu'il n'y a rien de

(1) Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale.

tout cela, des points de vue amenés comme malgré eux à des directions plus convenables, et quantité de semblables illusions plus charmantes les unes que les autres : il est entré en maudissant le luxe, il sort en admirant ce que l'on a su faire pour le contenter.

» Les anciens miroirs étaient faits non d'acier, comme bien des gens le pensent, mais de cuivre allié d'étain, et d'arsenic ou d'antimoine, pour être de la couleur de l'argent ; mais outre que cela devenait d'un poids incommode, d'un prix assez considérable et difficile à travailler en grand, ce métal composé avait encore l'inconvénient de se ternir promptement, ce qui le rendait désagréable à voir, et hors d'état de réfléchir la lumière assez bien pour représenter les objets. Depuis l'invention des glaces, on ne fait plus de ces miroirs qu'en petit, et dans le cas où l'on aurait trop de peine à les construire avec du verre.

» Les glaces enduites par derrière d'un amalgame d'étain et de mercure sont plus légères, moins coûteuses, et d'un poli plus durable que le métal dont je viens de parler ; mais elles ont un défaut qui ne permet pas qu'on les emploie dans les instrumens de catoptrique, où l'on a besoin d'une grande précision ; c'est que presque toujours elles donnent deux images de l'objet, l'une par leur surface antérieure, l'autre par le tain qui les couvre par derrière ; avec cette différence que celle-ci est beaucoup plus forte ; et cet effet est d'autant plus marqué que la glace est plus épaisse, comme on en pourra aisément juger en jetant les yeux sur la *fig.* 18, dans laquelle *ab* représente la première et *cd* la dernière surface d'une glace au tain ; car on voit que, si deux rayons partant du même point de l'objet sont réfléchis, l'un par la surface *ab*, l'autre par *cd*, le premier portera l'image du point lumineux en *e*, et le dernier la fera voir en *f*.

» La clarté des bougies fait communément plus d'effet dans les lieux où il y a beaucoup de glaces, parce qu'indépendamment de ces petites flammes dont les images se

multiplient, il revient plus de lumière de dessus les glaces polies, que des lambris peints ou des meubles qui couvrent les murailles.

» Quand nous regardons directement un objet, c'est cet objet même que nous voyons, et s'il est près de nous, nous le voyons presque toujours tel qu'il est; mais dans un miroir nous n'apercevons que son image. Cette espèce de fantôme, au lieu de paraître appliqué à la surface réfléchissante qui le fait naître, se voit toujours au-delà à une distance plus ou moins grande, suivant celle de l'objet au miroir; sa grandeur, sa situation, sa figure ne répondent pas toujours à celles du corps qu'il représente : cherchons les raisons de tous ces effets; et pour nous faire mieux entendre, procédons par des suppositions extrêmement simples.

» Représentons la surface d'un miroir plan par la ligne *ab*; *fig.* 19. Soit un point lumineux *c* dont un rayon *cd* aille frapper le miroir, et se réfléchisse comme *de*. L'objet aperçu par ce dernier trait de lumière ne sera pas jugé en *c* où il est; mais dans la ligne *ef*, (la distance restant indéterminée) parce que, comme nous l'avons enseigné pag. 15, on voit toujours dans la direction des rayons qui entrent dans l'œil : or, dans le cas présent, l'œil reçoit le rayon *de* qui fait partie de la ligne *ef*.

Quant à la distance, il faut faire attention que jamais nous ne voyons par un rayon simple : de chaque point visible il nous vient une pyramide de lumière dont la prunelle de notre œil mesure la base; *cd*, *de*, *fig.* 19, n'est donc, à proprement parler, que l'axe de la pyramide, partie incidente, partie réfléchie, représentée par la *fig.* 20. Il faut encore se souvenir (*voyez* pag. 15) que quand les objets sont près de nous, nous déterminons la distance des points visibles par la divergence des rayons qui forment les pyramides lumineuses; c'est-à-dire, que chacun de ces points nous paraît être à l'endroit où les rayons iraient se réunir, ou se croiser, s'ils partaient de l'œil dans le même ordre avec lequel ils s'y sont présentés : c'est donc en *g* que le point *c* doit être aperçu, quoique la réunion des rayons ne soit qu'imaginaire.

» Mais, puisque nous avons vu que la réflexion par un miroir plan ne change rien à la divergence des rayons, il s'ensuit que les points *g* et *c* sont de part et d'autre à égales distances de la surface réfléchissante *a b*, et qu'ayant l'œil placé en *e*, on voit par réflexion l'image du point *c*, précisément aussi loin qu'on l'aurait jugée, en le regardant lui-même directement du point *h*.

» Voilà donc pourquoi nous voyons toutes les images espacées entr'elles derrière une glace, comme les objets le sont devant elle : voilà ce qui fait que notre propre image s'avance vers nous quand nous marchons vers le miroir, et que les gestes que nous faisons en avant et en arrière sont rendus en sens contraire : d'où il arrive que sans une grande habitude, nous avons peine à diriger l'action de nos mains en les conduisant de l'œil par le moyen d'un miroir; car leur image passant d'avant en arrière, par rapport à nous, quand nous la faisons agir d'arrière en avant, nous croyons toujours avoir fait quelque mouvement contraire à notre intention, et cette incertitude nous fait hésiter et nous rend maladroits.

» Nous jugeons de la grandeur des images aperçues derrière les miroirs, comme de celles des objets que nous voyons par des rayons directs; c'est-à-dire, que nous estimons leurs dimensions par les angles visuels qui les embrassent. Ainsi, comme suivant ce que nous avons vu, pag. 44, la réflexion qui se fait par un miroir plan conserve aux rayons de lumière le degré de convergence qu'ils avaient dans leur incidence, il s'ensuit que l'angle *k e l*, *fig.* 21, est égal à K*i*L, et qu'on doit voir l'image *k l*, précisément de la même grandeur qu'on verrait l'objet KL lui-même, si on le regardait du point *i*. C'est pourquoi l'on dit qu'une glace est *fausse*, quand l'image y paraît plus petite ou plus grande que l'objet qu'elle représente, parce qu'en effet cela n'arrive point quand elle est vraiment droite dans toute sa surface, comme elle doit l'être.

» Les images qu'on aperçoit derrrière les miroirs tenant lieu d'objets à la vision, nous dérogeons souvent, par pré-

vention ou par habitude, à la règle des angles visuels, pour estimer leur grandeur et leur distance. On peut appliquer ici tout ce qui a été dit à ce sujet dans l'optique, en considérant de plus que comme la rencontre des miroirs les plus parfaits cause toujours un déchet de lumière, la clarté des images devient par-là moindre que celle des objets, ce qui nous porte à croire qu'elles sont dans un éloignement plus grand que celui qui résulte de la disposition des rayons réfléchis.

» Il est presqu'inutile de faire remarquer qu'un homme qui se regarde dans un miroir, voit toute la partie droite de son corps à la gauche de son image; cela ne peut pas être autrement, dès que celle-ci se présente face à face de son objet; elle en est comme la contre-épreuve : deux personnes vis-à-vis l'une de l'autre se voient de la même manière.

» Mais ce qu'il est à propos d'observer, c'est que quand on est ainsi debout devant une glace, on ne peut voir de sa propre grandeur qu'une partie qui égale deux fois celle du miroir; de sorte que si ce miroir n'a pas la moitié de votre hauteur, vous ne pourrez pas vous y voir tout entier. Vous verrez davantage une personne de votre taille, qui sera placée plus loin que vous de ce même miroir; comme aussi vous verrez moins celle qui sera dans un moindre éloignement. Pour comprendre aisément les raisons de ces effets, il faut jeter les yeux sur la *fig.* 21, et considérer que quand l'objet et l'œil sont à égales distances du miroir, comme cela est, quand on se regarde soi-même, les deux rayons qui forment l'angle *k e l*, et qui terminent les deux extrémités de l'image, sont coupés à la moitié de leur longueur par la ligne *a b* qui représente la surface réfléchissante : or, leur écartement dans cet endroit est égal à la moitié de l'espace *k l*, dans lequel est renfermée toute l'image : d'où il suit évidemment que si le miroir était moins haut que *m n*, il ne ferait pas voir l'objet K L tout entier.

» En un mot, puisque les rayons *m e*, *n e*, réfléchis par un miroir plan, conservent le dégré de convergence qu'ils

avaient en venant des extrémités K L de l'objet, les apparences par la partie *m n*, doivent être telles qu'elles seraient par un trou à jour de même grandeur fait dans une planche si l'œil était placé derrière. Or, on sait qu'en regardant par cette ouverture, on découvrirait une étendue plus ou moins grande, suivant qu'on serait plus ou moins près de cette espèce de fenêtre, et il est aisé d'en trouver les proportions; car si l'on considère que l'œil est comme le centre ou le point de convergence de tous les rayons visuels qui rasent les bords du trou, ces mêmes rayons, prolongés au-dehors, montreront par leur écartement l'étendue qu'ils embrassent à une distance donnée.

» On doit donc avoir égard à toutes ces considérations, quand on fait placer des glaces dans les appartemens, à dessein de faire voir des édifices, des parties de jardins ou des points de vue qu'on aime à rencontrer; sans cela on court risque de manquer ses projets ou de ne les remplir qu'imparfaitement.

» La situation de l'image dépend de la position de l'objet, relativement à celle du miroir : comme chaque partie de l'objet et le lieu de son apparence sont de part et d'autre à égales distances de la surface réfléchissante, s'il y a quelqu'une de ces parties plus près ou plus loin du miroir, l'image la représentera de même : voilà ce qui fait que *k l*, *fig.* 21, est incliné dans un sens contraire à son objet K L; car il faut que le point *k* se trouve plus près de la surface *a b* que le point *l*. Qu'un homme se couche tout à plat sur le parquet d'une chambre, ayant les pieds contre une glace élevée d'à-plomb, son image paraîtra couchée de même, elle aura comme lui les pieds contre la glace, et la tête dans le plus grand éloignement; et si cet homme, se roidissant sur les talons, se fait relever de manière que son corps décrive un quart-de-cercle, l'image passera aussi par tous les dégrés d'inclinaison, jusqu'à ce que l'un et l'autre se trouvent parallèles à la glace qui sera entre eux deux.

» On voit par là de quelle conséquence il est de placer les glaces dans les appartemens, de façon qu'elles fassent exacte-

ment des angles droits avec les planchers et avec les murs; sans quoi ni les uns ni les autres ne peuvent s'aligner avec leurs images, parce que celles-ci s'inclinent vers leurs objets, quand les objets s'inclinent aux miroirs.

» Une chose très-curieuse à remarquer, c'est que quand le miroir s'incline devant un objet, l'image fait une fois plus de chemin que lorsque c'est l'objet qui s'incline devant le miroir. L'homme dont je viens de parler, par exemple, verrait son image parcourir un demi-cercle au lieu d'un quart, si se tenant debout au bord du miroir placé horizontalement, il le faisait relever entièrement devant lui. Supposez que cet homme soit dans la ligne EG, *fig.* 22, et que le miroir soit *a b*, sa tête paraîtra en *e* et ses pieds en *g*; par conséquent l'image et l'objet seront dans le diamètre vertical du demi-cercle E *b e*. Que le miroir s'élève en faisant seulement un angle de 45 dégrés au pied de l'objet, comme dans la *fig.* 23, alors on verra l'homme dans le rayon horizontal *a e*, et par conséquent son image aura parcouru un quart de cercle par le mouvement angulaire du miroir qui n'aura été que de 45 dégrés : c'est par cette raison que quand on transporte un miroir, le moindre mouvement qu'on lui fait faire paraît beaucoup plus grand, à en juger par celui des images qu'on aperçoit derrière. Les reflets de lumière qui se font par une pièce d'eau, font toujours des mouvemens très-sensibles, quoique l'eau paraisse n'en avoir presque point; et les télescopes de réflexion sont plus difficiles que les autres à manier pour ceux qui n'en ont point acquis l'habitude, parce que le moindre mouvement qu'on donne aux miroirs faisant faire un grand chemin à l'image que l'on cherche, la rend plus difficile à saisir ou la fait perdre aisément quand on la tient.

» Les miroirs plans ont encore la propriété de conserver aux images des figures parfaitement conformes à celles des objets, et toujours par la raison que la distance *a g*, *fig.* 20, est égale à *a c*; car si vous appliquez cette règle à tous les points E, F, G, etc. des *fig.* 22 et 23, vous verrez que *e c* étant égal à *c* E, *f d* à *d* F, *g h* à *h* G, etc., il est de toute

nécessité que *e*, *f*, *g*, se trouvent dans une ligne droite, comme E, F, G; et conséquemment si la partie F de l'objet se trouvait hors de la ligne E *a*, le point correspondant *f* serait vu aussi plus près ou plus loin que la ligne *a e* : en un mot, la figure n'étant autre chose que l'arrangement des parties, et les miroirs plans rendant des images dont les parties sont arrangées comme celles de l'objet, on peut dire en toute sûreté, qu'ils conservent aux images des figures conformes à celles des objets; et que quand cela n'arrive pas, c'est que le miroir n'est point parfaitement droit en tout sens.

» L'image qu'on aperçoit dans un miroir peut servir d'objet elle-même, et se voir une seconde fois dans un autre miroir; et si celui-ci est placé de façon à la renvoyer sur le premier, elle peut être aperçue un grand nombre de fois dans le même : c'est ce que l'on fait tous les jours dans un appartement où l'on suspend un lustre entre deux glaces élevées parallèlement l'une vis-à-vis de l'autre; mais comme l'image qui sert d'objet est plus éloignée du miroir que l'objet même, elle doit aussi paraître plus loin derrière que la première image, et ainsi des autres : voilà pourquoi, dans l'exemple que je viens de citer, il paraît tant de lustres les uns après les autres dans le même alignement. Les plus éloignées de ces images sont aussi les plus faibles, parce que dans chaque réflexion il y a toujours une partie des rayons qui s'affaiblissent; ce qui fait que les dernières sont formées avec une moindre quantité de lumière, et qu'elles ont l'air d'être plus effacées.

» On fait par curiosité des miroirs à plusieurs faces planes, prismatiques et pyramidaux, dont la propriété est de rassembler, dans une seule image et sans interruption, plusieurs objets ou plusieurs parties d'un même dessin, dispersés et séparés par des espaces vides, ou remplis par d'autres figures qui ne se représentent point dans le miroir. Ces effets ne seront pas difficiles à expliquer pour quiconque aura bien compris ce que j'ai dit précédemment touchant les miroirs droits. Supposons, par exemple, qu'il y ait quatre faces réfléchissantes élevées perpendiculairement autour d'une base, telle

que A B C D E, *fig.* 24. Il est évident que l'œil placé à une certaine distance, comme F, et élevé d'un pied ou environ au-dessus du plan qui porte le miroir, apercevra par les rayons réfléchis A F, B F, C F, D F, et semblables, tout ce qui sera dessiné dans les espaces A B G H, B C I K, etc., et que tout ce qui ne s'y trouvera pas renfermé ne se verra point dans le miroir, si l'œil ne se porte ni à droite ni à gauche; ce qui donne la liberté de remplir d'objets étrangers au dessin les espaces H B I, K C L, M D N, et de déguiser par ce moyen la figure dont le miroir doit représenter l'image, et dont les parties sont séparées par ces triangles.

» Il en est à peu près de même d'un miroir pyramidal, dont les faces sont des plans triangulaires : autant il y a de côtés à la base, *fig.* 25, autant on observe sur le carton de triangles dans lesquels on renferme toutes les parties du dessin, que le miroir doit rassembler et faire voir à l'œil, qui se place pour cela dans l'axe prolongé de la pyramide, afin de pouvoir découvrir toutes les faces réfléchissantes. Ce qui se trouve dessiné dans les plaques A, B, C, D, se voit dans les parties correspondantes de la base *a*, *b*, *c*, *d*, et cette image ne comprend rien de tout ce qu'on peut avoir mis en E, F, G, H, pour interrompre le dessin et empêcher qu'on n'aperçoive les rapports que ses parties ont entr'elles.

» Il est à propos d'observer que les rayons réfléchis *g* G, *h* G, *i* G, font voir les points A B C, *fig.* 26, dans un ordre tout-à-fait opposé à celui qu'ils ont sur le carton, comme on le peut voir par les parties correspondantes de l'image *a*, *b*, *c*; et comme c'est la même chose pour tous les triangles, on voit qu'il faut que toutes les parties de la figure qui sont renfermées dans chacun d'eux soient placées à contre-sens, afin que l'image aperçue dans le miroir représente son objet au naturel : c'est encore une raison pour laquelle on a tant de peine à deviner ce que portent ces cartons, quand on les regarde sans l'aide du miroir. »

Miroirs courbes. Pour appliquer aux surfaces courbes la

loi de la réflexion de la lumière, on les regarde comme composées d'un nombre très-grand de facettes planes extrêmement petites comprises chacune dans le plan tangent au point où elle se trouve ; il est évident qu'un pareil polyèdre ne différerait pas de la surface courbe assez pour donner des résultats sensiblement différens : une facette peut alors être considérée comme un petit miroir plan, et tout ce qui précède s'y applique facilement.

Cette supposition nous conduira d'ailleurs à des conséquences qui ne seraient pas vraies si elle était fausse, et ces conséquences seront vérifiées par l'expérience.

Miroirs convexes. L'effet des miroirs convexes tend toujours à rendre les rayons divergens ; de sorte que, si les rayons incidens sont parallèles, les rayons réfléchis sont divergens ; s'ils sont divergens, leur divergence est plus grande après la réflexion ; et s'ils sont convergens, les rayons réfléchis sont, suivant les circonstances, moins convergens, parallèles ou même divergens.

1.° Dans la *fig.* 27, les rayons incidens cd, ef sont parallèles ; les perpendiculaires au miroir sont les rayons prolongés odk et ofl ; et, d'après la loi de la réflexion, les angles cdk et $c'dk$ sont égaux, ainsi que les angles efl et $e'fl$. Maintenant, l'angle efl est plus grand que cdk, et le surpasse d'une quantité égale à dof, ce qu'on peut reconnaître en menant fk' parallèle à dk ; il en est de même de l'angle lfe' comparé à l'angle kdc'. Il suit de là que l'angle efe surpasse l'angle cdc' de deux fois l'angle dof, et que si l'on mène fe'' de manière à former un angle $e''fe'$ égal à deux fois l'angle dof, cette ligne sera parallèle à dc' ; ce qui nous fait voir que les rayons réfléchis dc', fe' sont divergens, c'est-à-dire qu'ils vont en s'écartant de plus en plus l'un de l'autre, à mesure qu'ils s'éloignent davantage du miroir.

2.° Dans la *fig.* 28, les rayons incidens cd, cf sont divergens. Pour prouver que les rayons réfléchis le sont

davantage, il suffit de faire voir que l'angle $c'me'$ qu'ils font entre eux, est plus grand que l'angle fcd des rayons incidens ; c'est ce à quoi on peut arriver de la manière suivante :

L'angle cfe', comme extérieur au triangle mpf, égale la somme des deux angles $c'me'$ et mpf de ce triangle ; on a donc d'abord :

$$\text{angle } c'me' = \text{angle } cfe' - \text{angle } mpf;$$

d'ailleurs, mpf étant l'angle extérieur au triangle cpd, on a aussi .

$$\text{angle } mpf = \text{angle } dcf + \text{angle } cdc' ;$$

et en menant ft parallèle à dc, et fs parallèle à dk, on reconnaît que l'angle cfl égale l'angle cdk, plus l'angle dcf, plus l'angle dof; ce qui donne en doublant toutes ces quantités, et observant que l'angle cdc' est le double de l'angle cdk, et que l'angle cfe' est le double de l'angle cfl :

$$\text{angle } cfe' = \text{angle } cdc + 2.\text{ angles } dcf + 2.\text{ angles } dof.$$

Portant maintenant ces valeurs des angles mpf et cfe' dans la première équation, elle devient, toute réduction faite :

$$\text{angle } c'me' = \text{angle } dcf + 2.\text{ angles } dof.$$

Ainsi nous voyons que l'angle des rayons réfléchis surpasse l'angle des rayons incidens de deux fois l'angle formé par les deux perpendiculaires à la surface du miroir aux deux points d'incidence.

3.° La même *figure* 28 peut encore servir pour le cas où les rayons incidens sont divergens ; seulement il faudra regarder $c'd$ et $e'f$ comme représentant les rayons incidens, et alors dc et fe seront évidemment les rayons réfléchis. Or, nous avons fait voir que l'angle dcf est dans cette figure plus petit que l'angle $c'me'$; le miroir a donc pour

effet de diminuer la convergence. Il peut même arriver que les rayons réfléchis soient parallèles ou même divergens ; c'est ce qui aurait lieu si on prenait des points d'incidence de plus en plus éloignés sur la surface du miroir sans changer l'angle des rayons incidens : l'angle dof deviendrait alors de plus en plus grand, et par suite (*voy.* la dernière équation) l'angle dcf diminuerait de plus en plus, finirait par devenir nul et même négatif; ce qui prouve que les rayons réfléchis peuvent être parallèles ou même divergens, car lorsque l'angle dcf a une valeur négative, cela indique qu'ils se coupent en sens contraire ; c'est ce qui arriverait encore évidemment si on augmentait l'angle dcf sans changer les points d'incidence. D'ailleurs, on peut démontrer directement ces deux derniers cas au moyen de la figure 27, et d'une autre figure que nous laisserons construire à ceux de nos lecteurs qui commenceraient l'étude de la physique.

Nous remarquerons encore que, toutes circonstances égales d'ailleurs, un miroir plus petit agit plus efficacement sur les rayons pour augmenter leur divergence ou diminuer leur convergence ; cela résulte de ce que, pour un même éloignement des points d'incidence, l'angle dof étant plus grand, la différence entre les angles dmf et dcf est nécessairement plus grande de la même quantité. (*voyez* la dernière équation).

Applications. « Les miroirs (1) convexes, comme ceux qui sont plans, font toujours voir l'image derrière la surface réfléchissante et dans une situation conforme à celle de l'objet ; mais au lieu que dans ceux-ci le point de réflexion se trouve à égales distances entre l'une et l'autre, dans ceux-là l'image est rapprochée à proportion de la convexité plus ou moins grande : cette différence vient de ce que la divergence naturelle des rayons qui partent de chaque point visible de l'objet, se trouve augmentée après la réflexion (*voyez* pag. 53, 2°.); ce qui rapproche immanquablement de l'œil leur point de

(1) Abbé Nollet, Leçons de Physique expérimentale.

réunion, auquel nous rapportons la partie de l'objet dont ces rayons nous tracent l'image (*voyez* pag. 15).

» Un autre effet par lequel les miroirs convexes diffèrent des miroirs droits, c'est qu'ils rendent l'image toujours plus petite que son objet, et cela d'autant plus que celui-ci s'éloigne davantage de la surface réfléchissante : on en apercevra la raison si l'on considère un peu les conséquences que peut avoir le raisonnement de la pag. 54, 3.°, par lequel nous avons fait voir que des rayons convergens dans leur incidence, le sont toujours moins après avoir été réfléchis par une surface convexe; car c'est pour cela que les deux rayons C *e*, D *d*, *fig.* 29, se réunissent plus loin qu'ils n'auraient fait sans la rencontre du miroir *a b*; et par cette nouvelle disposition, ils font voir l'image sous un angle plus petit que celui sous lequel on eût vu l'objet en le regardant directement du point *f*.

» Si le même objet s'éloigne davantage du miroir, les rayons incidens *c e*, *d d*, devenant par là moins convergens, se réuniront après la réflexion sous un angle encore plus petit que dans le premier cas; ce qui fera voir l'image plus petite.

» Il faut remarquer que quand un miroir convexe diminue la convergence des rayons qu'il réfléchit, c'est le moindre effet qu'il puisse produire; car il peut arriver, soit par une plus grande convexité du miroir, soit par une moindre convergence des rayons qui tombent dessus, que ceux-ci, après la réflexion, se trouvent parallèles ou même divergens, et tous ceux à qui cela arrive ne peuvent plus se croiser dans l'œil, ni par conséquent concourir à y former l'image de ce que l'on cherche à voir. Rendons ceci plus intelligible par une figure.

» Soit *a b*, *fig.* 30, un miroir convexe faisant partie d'une sphère dont le centre serait en *c*. Si des deux extrémités *d*, *e*, d'un objet, vous conduisez des rayons divergens qui occupent les deux espaces *a f*, *b f*, en faisant les angles de réflexion égaux à ceux d'incidence, vous trouverez 1.° que les rayons *d h*, *e i*, qui tendent au centre de la sphéricité, se réfléchissent sur eux-mêmes; puisqu'étant comme des rayons prolongés de la sphère dont le miroir fait partie, ils ne sont ni plus

ni moins inclinés vers *a* ou vers *b* que vers *f*. Ces rayons sont donc fort divergens entr'eux, et fort éloignés de se joindre en quelque endroit que ce soit. 2°. Cet effet sera encore plus remarquable dans les rayons réfléchis par les parties *a h* et *b i*, comme on peut s'en assurer par la seule inspection de la figure. 3°. L'on reconnaîtra que depuis *h* jusqu'en *k*, et dans la partie correspondante depuis *i* jusqu'en *l*, les rayons réfléchis perdent peu à peu cette divergence, et qu'ils deviennent enfin parallèles : ce qui ne suffit point encore pour faire entrer dans l'œil des rayons venant des deux extrémités opposées *d*, *e*, ou, ce qui est la même chose, pour faire voir l'objet en entier. 4°. Mais à compter exclusivement des points *k* et *l*, où les rayons incidens tendent en *m*, qui est le quart du diamètre de la sphéricité, la lumière réfléchie converge sur l'axe prolongé *f g* (1) : partout où l'œil se trouvera placé dans cette ligne, il verra l'objet entier dans la partie *k l* du miroir, et il le verra sous des angles de plus en plus petits, à mesure qu'il s'éloignera davantage du miroir, en se plaçant successivement en *n*, en *g*, etc.

» Un objet d'une certaine grandeur, et dont les dimensions sont droites comme *e d*, se représente dans un miroir convexe sous une figure différente de celle qu'il a, parce que n'ayant point toutes ses parties à égales distances de la surface réfléchissante, et chacune d'elles se représentant derrière le miroir dans un dégré d'éloignement qui dépend de celui

(1) Les rayons réfléchis aux points *k* et *l* sont à peu près parallèles à l'axe *m g*; c'est ce qu'on reconnaît aisément en cherchant en quel endroit le prolongement du rayon incident *e l*, qui se réfléchit parallèlement à l'axe, coupe le rayon *e f*:

En menant *c l*, on a alors un triangle isoscèle *c m l*; car les angles *c* et *p l q* sont égaux comme correspondans, ainsi que les angles *m l c* et *q l e* comme opposés au sommet, et d'ailleurs les angles *p l q* et *q l e* sont égaux d'après la loi de la réflexion. De plus, les angles égaux *c* et *l* sont ordinairement très-petits, et il résulte de là que les deux côtés *c m* et *m l* forment une somme qui ne diffère presque pas du rayon *c l*, et par suite que l'une de ces deux lignes, *c m*, par exemple, est la moitié d'un rayon ou bien le quart d'un diamètre.

qu'elle a par sa position devant le miroir, il est de toute nécessité que l'image du point *o* paraisse plus près que celle des points *d*, *e*, et que cette ligne qui est droite ait l'apparence d'une courbe : un miroir convexe ne peut rendre les images conformes aux objets, que quand ceux-ci se présentent avec des surfaces parallèles à sa courbure.

» Si les miroirs dont nous parlons sont infidèles par rapport aux figures des objets qu'ils nous représentent, on peut leur reprocher encore de rendre avec peu d'exactitude les mouvemens qui se passent devant eux, et l'un est une suite naturelle de l'autre ; car un corps qui se meut devant un miroir ne fait que se présenter successivement dans différens lieux : si, en passant de l'un à l'autre, il parcourt des lignes ou des surfaces qui ne soient point parallèles à la courbure du miroir, comme cela arrive le plus souvent, ce corps, par les raisons que je viens d'alléguer, aura dans le miroir des apparences successives, dont la suite ne répondra pas exactement à celle des positions qu'il aura prises réellement.

» On voit par expérience la vérité de tout ce que je viens de remarquer au sujet des miroirs convexes, en arrêtant la vue sur un bouton d'or ou d'argent bien bruni, sur une boîte de montre, etc. On y voit son visage comme dans une miniature : on l'y voit dans sa situation naturelle, et fort près derrière la surface réfléchissante ; mais rarement le voit-on dessiné correctement, et les mouvemens de cette image ne répondent pas non plus bien exactement à ceux qu'on lui donne à imiter : cela vient sans doute des irrégularités de ces petits miroirs destinés à briller plutôt qu'à représenter des images ; mais quand ils seraient taillés pour ce dernier effet, ils auraient toujours dans les cas ordinaires les imperfections que j'ai remarquées ci-dessus.

» Cependant, quand l'objet est loin du miroir, que le miroir a beaucoup de largeur et peu de convexité, les images ne se défigurent pas sensiblement ; le dessinateur ou le peintre

qui veut s'en aider pour réduire un tableau du grand au petit, ne laisse pas que d'en tirer un parti assez avantageux.

» On voit dans les cabinets des curieux certaines glaces qui sont bien droites à l'extérieur, et qui font très-sensiblement l'effet des miroirs convexes. Assez souvent la même présente plusieurs de ces petits miroirs qui paroissent bombés, et qui font en cela une illusion dont on ne se désabuse que par le tact : en effet, la surface antérieure de la glace est plane dans toute son étendue; mais l'autre est creusée en portion de sphères concaves et enduite de vif-argent et d'étain. Cet enduit métallique sur lequel se fait la plus grande réflexion de lumière, en s'appliquant dans les creux, forme des miroirs convexes du côté des objets et du spectateur, et en produit tous les effets. »

Miroir concave. Les effets des miroirs concaves sur les rayons lumineux sont le contraire des effets des miroirs convexes : ils rendent les rayons parallèles, convergens; les rayons convergens, plus convergens; et les rayons divergens, ou moins divergens, ou parallèles, ou convergens, suivant les circonstances. Les *figures* 27 et 28 peuvent encore servir pour démontrer ces propositions; il suffit pour cela de prolonger les lignes cd, ef, $c'd$, $e'f$, et de considérer leurs prolongemens au lieu de les considérer elles-mêmes; car le miroir sera alors concave au lieu d'être convexe, les rayons divergens comme cd, ef seront remplacés par des rayons convergens rd, sf, et réciproquement; ce qui fait voir que les effets seront le contraire de ceux que nous avons étudiés précédemment.

Foyers. Quand les miroirs concaves ne sont qu'une faible partie de la sphère sur laquelle on les a travaillés, ils jouissent alors de la propriété de rassembler les rayons réfléchis, lorsque les rayons incidens ne sont point trop divergens, en un petit espace situé à une distance plus ou moins grande du miroir, et qu'on nomme *foyer*.

1.° Quand les rayons incidens sont parallèles à l'axe CA

du miroir, le foyer est au milieu F du rayon CA, *fig.* 31 ; car LM représentant un rayon incident *quelconque* et MF le rayon réfléchi, les deux angles FMC et C sont égaux comme étant tous deux égaux à l'angle CML, le premier d'après la loi de la réflexion, le second parce qu'il est alterne-interne avec lui, et conséquemment le triangle MFC est isoscèle, et on a MF = FC ; d'ailleurs, l'angle C qui a pour mesure un arc AM d'un petit nombre de dégrés et son égal FMC étant très-aigus, MFC égale à peu près MC ou AC ; ce qui prouve que CF est environ la moitié de CA.

Les rayons partant d'une étoile située sur l'axe du miroir peuvent être regardés comme étant dans ce cas ; quoiqu'ils ne soient pas exactement parallèles, il n'y a pas d'erreur sensible à les considérer comme tels. On peut même en dire autant des rayons partant d'un point situé à une distance beaucoup moindre ; par exemple, à un quart de lieue, l'angle que font entre eux ceux qui parviennent à la surface du miroir est si petit, qu'on peut encore les supposer parallèles.

2.° Si le point lumineux se rapproche de plus en plus, les rayons incidens deviennent de plus en plus divergens, et par suite les rayons réfléchis de moins en moins convergens : il résulte de là que leur point de concours ou le foyer s'éloigne alors de la surface du miroir ; le point lumineux étant en L′, par exemple, le foyer sera en F′. Au centre C, le point lumineux et le foyer coïncident, les rayons réfléchis se confondent avec les rayons incidens.

3.° Si le point lumineux est situé entre le centre C et le *foyer principal* ou foyer des rayons parallèles F, en F′ par exemple, alors le foyer est situé au-delà du centre en L′, et d'autant plus loin que le point lumineux est plus près du point F. Enfin, si le point lumineux est en F, les rayons réfléchis sont parallèles. Cela résulte de ce que, si un rayon incident L′M se réfléchit suivant MF′, un rayon

incident F'M doit, d'après la loi de la réflexion, se réfléchir suivant ML'.

L' et F' sont nommés foyers conjugués.

4.° Si le point lumineux est situé entre le foyer principal F et la surface du miroir, les rayons incidens seront encore plus divergens, et l'effet du miroir ne sera plus suffisant pour que les rayons réfléchis soient convergens ni même parallèles; ils resteront divergens, quoiqu'à un moindre dégré, et il n'y aura pas de foyer.

Si le point lumineux était situé hors de l'axe, en L'' par exemple; pour déterminer la position du foyer, il faudrait mener la droite L''A', on obtiendrait ainsi un axe *secondaire* CA', sur lequel il serait placé, comme précédemment sur l'axe principal. Cela suit de ce que CA' peut être regardé comme l'axe principal d'un miroir MN, auquel on pourrait appliquer tous les raisonnemens précédens; seulement la partie PN n'existant pas, les rayons réfléchis vers le foyer seront en réalité en moins grande quantité. Mais, dans ce cas, le miroir MN étant plus grand que MP, pourrait être une trop grande portion de sphère pour réunir tous les rayons réfléchis en un très-petit espace; les rayons extrêmes ne passeraient plus alors par le foyer, il y aurait *aberration de sphéricité*: c'est ce qui arriverait, par exemple, si l'axe secondaire et l'axe principal faisaient entre eux un angle un peu grand.

Applications. Les applications des miroirs sphériques concaves sont de deux sortes; on les emploie pour produire de grandes chaleurs ou pour modifier les faisceaux de lumière, afin de changer les apparences des objets placés au devant d'eux.

Tout ce que nous avons précédemment dit sur la réflexion de la lumière s'applique aussi à la chaleur, qui n'est pas autre chose qu'une lumière trop faible pour être sensible à l'œil; de sorte qu'il peut y avoir de la chaleur réfléchie

sans lumière, mais jamais de lumière sans chaleur, puisque la lumière est une vive chaleur.

Il suit de là que, si on reçoit sur un miroir concave un faisceau de lumière venant du soleil, et composé de rayons qui peuvent être considérés comme parallèles, un corps placé au foyer principal sera fortement échauffé, parce qu'il se trouvera soumis en même temps à l'action *maximum* de la surface de chacune des facettes qui composent le miroir, et qu'il ne pourra pas, comme dans le cas où il serait placé dans un rayon unique réfléchi par un miroir plan, se refroidir presque aussi vîte qu'il sera échauffé. Avec un miroir un peu grand et bien travaillé, on parvient à brûler tous les combustibles et à fondre presque toutes les substances connues, capables de supporter une violente chaleur sans éprouver de changement chimique.

Plusieurs miroirs plans peuvent aussi être employés pour échauffer un corps; l'intensité de la chaleur produite dépend alors principalement de leur nombre. Buffon a fait exécuter au jardin des plantes, en 1747, un miroir polygone composé de 168 glaces étamées, susceptibles de se mouvoir en tout sens, de sorte qu'on pouvait les incliner de manière à leur faire réfléchir à toutes les rayons solaires sur un même corps : ce miroir, dont l'idée principale est due au père Kirker (1), brûlait le bois à 200 pieds, fondait l'étain à 150 pieds et du plomb à 140; et son auteur pensait réussir, en multipliant les glaces, à produire les mêmes effets à une distance plus grande.

Les rayons de chaleur qui viennent des corps que nous mettons en combustion à la surface de la terre, sont aussi susceptibles d'être concentrés par les miroirs concaves, et d'agir alors plus efficacement et à une plus grande distance; c'est ce qui se voit dans l'expérience suivante :

On dispose à une distance de 30 à 50 pieds l'un de l'autre deux miroirs sphériques concaves, en métal ou seulement

(1) Kirker, *ars magna lucis et umbræ*, lib. X, p. 888.

en bois, carton, ou plâtre doré ou argenté, de manière que leurs axes coïncident ; puis on met au foyer principal de l'un, des charbons enflammés dont on active la combustion en dirigeant continuellement dessus le vent d'un soufflet, et au foyer de l'autre, de l'amadou ou de la poudre à canon ; en peu d'instans ces matières prennent feu. Ce qui se passe dans cette opération est facile à concevoir : les rayons incidens partant du foyer principal F se réfléchissent parallèles, et arrivent ainsi à la surface du second miroir par lequel ils sont réfléchis de manière à agir tous sur le corps placé au foyer F′.

En plaçant un corps froid, par exemple une boule de glace en F et un thermomètre en F′, le thermomètre baisserait rapidement, et on aurait ainsi le phénomène de la réflexion du froid. Cette expérience s'explique absolument comme la précédente ; les lignes que nous avons nommées rayons doivent seulement être considérées comme désignant les directions suivant lesquelles l'action refroidissante est *maximum*, au lieu de désigner les directions suivant lesquelles la chaleur est transmise en quantité plus grande que dans toutes les autres.

Dans tous les cas, il est évident que le corps influent ne peut pas échauffer ou refroidir le corps placé au foyer de l'autre miroir jusqu'à le ramener à sa température.

Vision dans les miroirs concaves. « Les miroirs plans et ceux qui sont convexes nous font toujours voir l'image de l'objet derrière la surface réfléchissante, c'est-à-dire qu'ils se trouvent entre cette image et l'œil du spectateur : il n'en est pas de même des miroirs concaves ; ils ne produisent cet effet que dans certains cas, lorsque l'objet est placé devant eux à une distance qui n'égale point le quart du diamètre de leur sphéricité, c'est-à-dire plus près que le point F, *fig.* 31. Dans les autres cas, l'image sort pour ainsi dire du miroir, et s'avance plus ou moins, suivant la distance de l'objet à la surface réfléchissante.

» Pour bien entendre ceci et ce qui suivra, il est à propos de se rappeler deux principes qui ont été établis précédemment, savoir : 1.° que chaque point éclairé d'un objet nous devient visible par un faisceau de rayons divergens, par une pyramide de lumière dont la base est égale à l'ouverture de la prunelle de l'œil, de sorte que si les filets ou rayons qui forment cette pyramide, par quelque cause que ce puisse être, au lieu de divergens qu'ils sont naturellement, se présentent ou parallèles ou convergens, nous cessons de voir distinctement le point éclairé d'où ils procèdent (1). J'en dirai les raisons lorsque j'expliquerai les parties de l'œil et leurs fonctions ; 2.° que nous ne saurions voir un objet entier, à moins que des extrémités opposées de ses dimensions il ne se fasse vers l'œil un concours de ces faisceaux ou pyramides dont je viens de parler. Quand il arrive, par quelque moyen que ce soit, que ces rayons perdent cette tendance commune qu'ils ont vers l'œil, jusqu'au point de devenir parallèles entre eux, la vision alors ne peut plus se faire que très-imparfaitement.

» Cela posé, si l'on considère maintenant que le foyer des rayons parallèles est en F, et qu'il faut par conséquent que le point radieux se trouve plus près du miroir, pour que les rayons réfléchis vers l'œil conservent ce dégré de divergence dont je viens de rappeler la nécessité, on sentira tout d'un coup comment il tient à cette dernière condition que nous apercevions l'image derrière ce miroir, puisque c'est par elle que les rayons réfléchis ont derrière la surface réfléchissante un point de réunion, où nous rapporterons le point radieux ou visible de l'objet.

» Et comme par les grandeurs respectives du miroir et de l'objet, il arrive que l'œil placé en certains endroits ne peut plus recevoir en même temps des rayons de tous les

(1) Ceci doit s'entendre des vues ordinaires, et non pas de celles des presbytes dont il sera parlé dans la suite.

points éclairés, cela fait quelquefois que l'objet ne nous est pas représenté en entier.

» Lorsque le point radieux est entre le quart et la moitié du diamètre de la sphéricité du miroir, entre F et C, les rayons réfléchis *b*E, *d*E, deviennent convergens et se croisent plus loin que le point C, en E, par exemple, ou plus loin, en s'écartant du miroir, si le point radieux s'approche d'avantage du point F, comme je l'ai observé en parlant des foyers. Or, l'image se peint partout où ces rayons se réunissent, et cela se peut traiter par le fait; il n'y a qu'à la recevoir sur un carton blanc exposé à cette distance.

» Mais si l'on veut recevoir cette image immédiatement dans l'œil, ce n'est point en E qu'il le faut placer, c'est au-delà, à telle distance où les rayons croisés aient repris le dégré de divergence nécessaire; c'est pour cela qu'une personne qui essaie de voir l'image de sa main entre elle et le miroir concave, ne l'aperçoit bien distinctement qu'en écartant beaucoup sa tête de l'endroit où se fait la représentation, dans le cas où l'objet et son image se touchent. En pareilles circonstances, l'expérience réussit mieux avec une épée nue qu'on porte en avant, et c'est encore par la même raison.

» Toutes les fois que nous voyons ainsi l'image en deçà du miroir, elle est renversée, parce que les faisceaux de rayons qui partent des parties opposées de l'objet, ne peuvent plus converger à l'œil qu'après s'être croisés entre l'objet et le miroir; c'est-à-dire, que d'un nombre infini de pareilles pyramides de lumière qui procèdent, par exemple, des points A et B, *fig.* 32, et dont les unes se croisent à différentes distances, et d'autres ne se croisent point, l'œil, dans le cas dont il s'agit, ne peut plus recevoir en même temps que de celles qui ont souffert ce croisement : or, la pyramide incidente AE portant après la réflexion l'image du point A en *a*, où se réunissent ses propres rayons, et la pyramide BG, par une conséquence nécessaire, peignant B en *b*,

l'image se trouve à contre-sens de l'objet, et l'œil placé au-delà, en la recevant, la voit dans cette situation.

» Soit que l'œil reçoive cette image par les rayons directs aH, bH, soit que, placé du côté du miroir, il l'aperçoive par l'intermède d'un carton blanc, dans ce dernier cas comme dans le premier, elle est toujours renversée, parce que les rayons qui vont du carton à l'œil ne se croisent point en chemin.

» Nous avons remarqué précédemment que le miroir convexe fait voir l'image plus petite et plus près qu'elle ne paraît par un miroir plan; le miroir concave diffère aussi de ce dernier, mais par des effets tout opposés, car lorsque l'image est vue derrière la surface réfléchissante, elle en paraît plus éloignée que l'objet ne l'est par devant, et nous la voyons toujours amplifiée. La première de ces deux apparences vient de ce que les rayons qui partent de chaque point de l'objet perdent une partie de leur divergence par la réflexion du miroir, comme je l'ai prouvé plus haut; ce qui fait que leur point de réunion a, où est l'image du point A, se trouve derrière la surface réfléchissante, bien plus éloigné que l'objet ne l'est par devant; et il en est de même de tous les autres points à proportion; ce qui rend la situation de l'image conforme à celle du corps qu'elle représente.

» Quant à la grandeur de l'image, elle est augmentée, parce que, comme je l'ai prouvé précédemment, des rayons qui sont un peu convergens dans leur incidence, le deviennent davantage étant réfléchis par un miroir concave; ainsi les axes des deux pyramides Ae, Bf, lesquels par leur convergence naturelle tendent à se réunir en d, et feraient voir directement l'objet sous l'angle AdB, représentent son image sous l'angle aDb, qui est beaucoup plus grand, à cause de leur réflexion par le miroir concave, laquelle rapproche de beaucoup leur point de convergence.

» Un miroir concave qui a peu de courbure, rend assez fidèlement la figure d'un petit objet; mais il n'en est pas de

même s'il est bien creux relativement à son diamètre, ou que l'objet soit grand. Car, pour l'ordinaire, les dimensions de celui-ci n'étant point parallèles à la surface réfléchissante, et les points visibles se représentant à des distances proportionnées au dégré d'éloignement qu'ils ont devant le miroir, il est de toute nécessité que l'image qui résulte de toutes ces représentations particulières fasse voir dans des lignes courbes ce qui se présente au miroir dans des lignes droites, ou, ce qui est la même chose, que la figure apparente ne soit pas conforme à la figure réelle de l'objet.

» On a fait des miroirs concaves de verre comme on en fait de convexes, en prenant un morceau de glace un peu épais, dont on laisse une des faces droites, et qu'on travaille de l'autre côté pour le rendre convexe; on étame ensuite cette dernière surface en y appliquant une feuille d'étain avivée de mercure, comme on fait aux glaces ordinaires. Cet enduit prenant une forme concave du côté du verre qui le reçoit, a toutes les propriétés des miroirs dont je viens de parler en dernier lieu: à cela près que l'épaisseur du verre étant fort grande au milieu, et bien moindre dans les autres endroits, cause du déchet à la lumière et quelques irrégularités dans sa propagation.

» On en fait de plus réguliers et de plus grands avec des morceaux de glaces arrondis circulairement, auxquels on fait prendre un forme convenable, en les mettant à plat sur un moule sphériquement concave, dans un four fait exprès et que l'on chauffe jusqu'à ce que la glace amollie se soit exactement appliquée au creux préparé dessous pour la recevoir. Cet art a commencé en Angleterre: on me fit voir à Londres, il y a trente ans, des glaces courbées de cette manière qui avaient deux pieds de diamètre; peu de temps après on m'en fit de pareilles à notre manufacture de Saint-Gobin (1). On en courbe à présent de plus grandes, tant en Angleterre qu'en

(1) Ces glaces furent courbées alors par M. de Bernières, contrôleur de la manufacture: depuis ce temps-là, M. de Romilly, qui a été directeur de la même manufacture, en a courbé de plus grandes.

France. M. de Buffon en montra une à l'Académie des sciences, dont le diamètre était de trois pieds, et qui avait été préparée au jardin royal.

» Ces miroirs ont sur ceux de métal deux avantages considérables : ils réfléchissent plus de rayons de lumière, et sont par-là capables de plus grands effets, tant pour former des foyers brûlans, que pour rendre vivement les images des objets : en second lieu, ils conservent mieux leur poli et le brillant de leur surface, ce qui n'oblige point à des réparations qui peuvent à la longue altérer la figure du miroir et la rendre irrégulière. Cette dernière considération avait déterminé Newton à construire avec du verre les miroirs de son télescope de réflexion ; mais quelque peine qu'il ait prise pour en trouver et en faire goûter les moyens, les ouvriers ont trouvé tant de difficultés dans l'exécution, qu'ils y ont renoncé ; toute leur application se dirige aujourd'hui vers l'emploi d'un métal assez serré pour recevoir un beau poli, et tellement composé que sa surface bien travaillée ne se ternisse qu'au bout d'un temps fort long.

» Les grands miroirs de métal ont aussi sur ceux de verre quelques raisons de préférence, ils sont moins casuels ; et comme les deux surfaces peuvent se polir également, la même pièce fournit deux miroirs, l'un concave, l'autre convexe, de la même grandeur.

» Quand il ne s'agit que de rassembler les rayons solaires dans un petit espace, pour y faire naître un dégré de chaleur très-considérable, on peut former des miroirs convexes avec plusieurs petits miroirs plans ajustés dans un chassis, et inclinés entre eux d'une manière convenable (*voyez* pag. 62) ; mais pour les effets d'optique dont nous avons fait mention en dernier lieu, il faut absolument une concavité égale et uniforme, que les parties qui la composent soient de facettes si petites que l'œil ne puisse distinguer l'étendue de chacune d'elles, et que de l'une à l'autre l'inclinaison soit absolument insensible. Sans ces conditions, au lieu d'une seule image, il s'en forme autant qu'il y a de petits miroirs plans ; ou si chacun

d'eux n'est point assez grand pour représenter l'image en entier, il se fait autant d'images tronquées qu'il y a de pièces au miroir.

» En regardant le creux d'une cuillère neuve, l'intérieur d'une boîte de montre ou de quelque vaisseau de métal, dont la surface soit propre à réfléchir beaucoup de lumière, si l'on aperçoit son visage renversé ou quelqu'autre des effets qui ont rapport à ceux que nous venons d'expliquer, c'est que toutes ces surfaces réfléchissantes sont autant de miroirs concaves, irréguliers pour la plupart, mais qui ne laissent pas que de faire en gros ce qu'une courbure plus conforme aux règles produirait avec exactitude.

On observe encore, outre les effets qui viennent d'être examinés, que dans certaines positions les miroirs concaves font voir doubles les images des objets; cela vient de ce que les pyramides qui arrivent à chacun des deux yeux d'un même point de l'objet, ont leurs sommets dans deux parties différentes du foyer : c'est, au reste, ce dont on peut se convaincre en observant que l'image redevient simple aussitôt qu'on ferme un œil.

Remarques sur les miroirs mixtes. « On appelle *miroir mixte*, celui qui est droit dans un sens et courbe dans l'autre, soit que la courbure se présente par la convexité ou par la concavité : tels sont les miroirs coniques et ceux qui sont des parties de cylindres coupés parallèlement à l'axe. Ce sont des instrumens de pure curiosité, par le moyen desquels on forme des images qui rappellent à l'esprit un objet qu'on est surpris de ne pas trouver devant le miroir, ou par lesquels on rend méconnaissable, dans sa représentation, un objet connu qui s'y trouve exposé. Tout le monde connaît ces cartons peints, sur lesquels on voit des figures qu'on a peine à deviner, et qui se reconnaissent tout d'un coup et avec surprise quand on y applique le miroir qui leur convient; on sait aussi qu'en regardant son visage dans ces sortes de miroirs, on aperçoit des traits dans un désordre fort étrange.

» Pour se rendre raison de ces effets et de quelques autres que nous remarquerons encore, il faut considérer que ces miroirs étant droits dans une de leurs dimensions, dans leur hauteur, par exemple, tout ce qui s'y passe de bas en haut doit être tout-à-fait conforme à ce que nous avons enseigné touchant les miroirs plans, que nous avons toujours représentés par des lignes droites. Ensuite, on doit faire attention que toutes ces lignes droites, qu'on peut concevoir de bas en haut, n'étant pas rangées dans un même plan, mais formant une surface courbe dans sa largeur, tout ce qui se passe à l'égard de cette dernière dimension, doit s'expliquer comme les effets des miroirs concaves ou convexes que nous avons représentés par des lignes circulaires.

» Supposons donc premièrement que FG, *fig.* 33, soit le miroir cylindrique considéré suivant sa hauteur seulement, et que AE soit un objet divisé en plusieurs parties selon sa longueur; puisque FG est un miroir droit, ou qu'on doit regarder comme tel, les points *a*, *b*, *c*, *d*, *e* de l'image doivent être à pareilles distances les uns des autres, comme A, B, C, D, E le sont dans l'objet, pour les raisons que j'ai alléguées page 47; c'est-à-dire, que ce que l'on voit dans un miroir cylindrique convexe ne change point de figure dans sa hauteur, ou, pour parler plus exactement, dans une de ses dimensions qui se présente perpendiculairement à la surface du miroir considérée de bas en haut.

» Secondement, si l'on considère ce qui se passe dans la largeur *q*, *t*, *y* du miroir, *fig.* 34, on doit penser que les rayons incidens A*q*, L*r*, M*s*, N*t*, etc. étant réfléchis vers Z où est l'œil, font voir les parties du dessin A, L, M, N, etc. dans l'espace *a*, *f*, et qu'il doit arriver la même chose à tous les points visibles qui seront dans les autres lignes concentriques à la surface du miroir BQG, CHR, etc.; d'où il est aisé de comprendre que si ces parties ainsi resserrées représentent au naturel l'objet dont elles forment l'image, il faut nécessairement que, dans le dessin, elles soient étendues de manière à rendre ce même objet méconnais-

sable ; telle est une figure humaine qui, ayant de la tête aux pieds la longueur NS, occupe en largeur l'espace LNP, ou quelque chose de plus.

» Par une conséquence nécessaire, une figure bien proportionnée, qui se présente devant un tel miroir, doit produire une image tout à fait difforme, puisqu'il est indispensable que l'une de ses dimensions se représente dans un espace beaucoup plus petit que celui qu'elle occupe dans l'objet. Voilà pourquoi l'on se voit un visage écrasé avec une bouche extrêmement grande, quand on tient l'axe du miroir cylindrique parallèlement à la position des deux yeux.

» Si FG, *fig.* 33, était un miroir plan d'une largeur sensible, tous les points A, B, C, D, E seraient vus infailliblement dans la ligne *a e*, c'est-à-dire, dans une position horizontale, le miroir étant élevé, comme on le suppose, verticalement : avec le miroir cylindrique, ce qui est dessiné par le carton placé horizontalement paraît élevé à peu près comme *e g* ; cela vient de ce que les pyramides de lumière qui arrivent des parties A, B, C, D, etc. du dessin au miroir, y touchent non pas un seul point, comme nous l'avons supposé, en ne faisant attention qu'aux axes de ces pyramides, mais un espace sensible qui doit être considéré comme un petit miroir convexe, puisqu'il est courbe suivant sa largeur. Or, tout miroir convexe, comme je l'ai fait voir, rapproche les images vers l'œil, en augmentant la divergence des rayons qui forment les pyramides de lumière ; ainsi le point A, au lieu d'être vu en *a*, paraît en *g*, et ainsi des autres.

» On peut encore remarquer dans l'usage du miroir cylindrique, que la dimension *a e* de l'image augmente à mesure que l'œil s'élève davantage au-dessus du carton sur lequel est dessinée la figure ; c'est qu'alors l'angle visuel qui devient plus aigu, au moins à partir d'un certain terme, comme on le peut voir en supposant l'œil placé en K, ne décroît pas aussi rapidement que la distance augmente ; et l'on sait par ce que j'ai enseigné ailleurs (*voy.* pag. 24 et suiv.), que la

grandeur apparente de tout ce que nous voyons se règle naturellement sur l'ouverture plus ou moins grande des angles visuels, et sur la distance à laquelle nous jugeons les objets.

» Le miroir conique est encore une combinaison du miroir droit avec le convexe; mais il s'y joint des circonstances qui en rendent les effets très-différens de ceux du cylindre. Premièrement, comme toutes les lignes droites de la surface réfléchissante sont inclinées entre elles, et qu'elles ont un point commun de réunion au-dessus du plan qui porte la figure dessinée, le miroir placé au centre d'un carton circulaire en peut faire voir toute l'étendue à quiconque met l'œil directement et à une distance convenable au-dessus de la pointe du cône; car les rayons qui partent des points A, B, C, *fig.* 35, après avoir touché le miroir en *g*, *h*, *i*, se réfléchissent vers le spectateur, et lui font voir les parties du dessin dans la base du cône. La même chose se passe dans la partie opposée à l'égard des points D, E, F; de sorte que tout ce qui est tracé dans un espace circulaire, dont on ne voit ici que la moitié ACGHFD, se représente dans le cercle dont le diamètre est *cf*.

» L'image par conséquent est beaucoup plus petite que l'objet, et bien plus près de l'œil qu'elle ne serait, si le miroir était purement droit. La surface du miroir conique étant comme celle du miroir cylindrique, composée dans son pourtour de lignes circulaires parallèles à la base, chaque endroit sur lequel tombe un faisceau de rayons le modifie comme un miroir convexe, dont la propriété est de diminuer la grandeur des images et de les rapprocher de l'œil; et parce que deux miroirs plans inclinés l'un vers l'autre, comme les deux lignes *cg*, *fg*, feraient voir *a*, *b*, *c*, et *d*, *e*, *f*, dans un ordre directement opposé à celui des parties A, B, C, D, E, F, de l'objet représenté, quand on regarde sur la pointe d'un miroir conique, on doit s'attendre à trouver au centre de l'image ce qui est dessiné dans la circonférence extérieure AHD du carton, et les extrémités de cette même image composée des parties C, G, F, etc.

» Mais ce que cette espèce de miroir a de particulier, c'est que sa courbure va toujours en augmentant, depuis la base jusqu'au sommet; et c'est une seconde circonstance qui mérite attention, parce qu'elle contribue plus que toute autre à rendre l'image différente de l'objet qui l'a fait naître. Les parties du dessin se représentant à contre-sens dans le miroir, celles qui sont le plus éloignées l'une de l'autre sur le carton, sont les plus rapprochées dans la représentation : en un mot, tout ce que porte le cercle A H D, etc., se rassemble, pour ainsi dire, dans un point; B I E, etc. est moins resserré, et C G F, etc., occupe la circonférence extérieure de l'image : on voit par là que si les parties de cette image se montrent dans un ordre et avec des distances convenables pour représenter un objet connu, il faut qu'elles aient dans le dessin des positions contraires et des disproportions de grandeur, d'où il résulte un tout qu'on ne reconnaîtrait point; et cet effet du miroir qui rend à l'image ce que le dessin n'a pas, vient de ce que les parties les plus écartées A, H, D tombent sur une zone du miroir où la courbure est la plus forte, et qui, faisant l'office d'un miroir très-convexe, les resserre plus que les autres. Les décroissemens de cette courbure, depuis la pointe jusqu'à la base du cône, étant dans un rapport convenable avec la diminution des cercles concentriques, sur lesquels les différentes parties du dessin se trouvent placées, il arrive de là que ces mêmes parties reçoivent dans l'image un arrangement régulier, et tel qu'il faut, pour représenter correctement un certain objet.

» Par une suite nécessaire de tout ce que je viens de dire touchant le miroir conique, les parties d'un objet ou d'un dessin régulier doivent s'y représenter dans un ordre renversé, et avec des disproportions de distances et de grandeurs qui le rendent tout-à-fait difforme. Un homme, par exemple, y voit son image avec une bouche qui fait tout le tour de l'image, tandis que les oreilles, diminuées à l'excès, sont adossées l'une à l'autre près du centre.

» Les miroirs, tant cylindriques que coniques, sont ordi-

nairement convexes : on en pourrait faire de concaves, et on expliquerait de même leurs effets, en démêlant ce qui dépend des propriétés du miroir droit, d'avec ce qui appartient au miroir sphérique concave, dont nous avons parlé ci-dessus; et en général, comme les miroirs mixtes ne peuvent être composés que de lignes droites dans un sens et de lignes courbes dans l'autre, quand bien même ces courbes ne seraient pas des arcs de cercle, en partant de ce premier principe que *la lumière se réfléchit faisant son angle de réflexion égal à celui de son incidence*, on viendrait toujours à bout de voir l'influence ou la part que ces courbes pourraient avoir dans l'effet total.

Réflexion sur les surfaces non polies. Les surfaces non polies, comme une muraille, par exemple, se trouvant hérissées d'aspérités qui présentent des faces inclinées au plan général dans toute sorte de sens, réfléchissent la lumière dans toutes les directions, et ne produisent aucun phénomène bien régulier.

Dioptrique.

Les corps lumineux n'agissent pas toujours sans intermédiaire, comme nous l'avons supposé jusqu'ici, pour illuminer les corps soumis à leur action : à la surface de la terre, deux corps à distance ne sont jamais séparés par un espace vide; il existe toujours entre eux quelque substance, et l'influence qu'ils exercent l'un sur l'autre étant toujours moins grande que celle de cette substance intermédiaire, est ou médiate ou sensiblement nulle. Dans ce dernier cas, le corps intermédiaire se nomme *opaque* : il peut être illuminé par celui des deux corps qui est lumineux: mais la lumière ne peut se transmettre de sa surface à son intérieur, soit parce que la forme des atomes qui le composent n'est pas favorable à la transmission des mouvemens atomiques, soit parce que leur arrangement n'est pas convenable. Dans le premier cas, le

corps intermédiaire est appelé *transparent*, les mouvemens atomiques se transmettent par son intérieur de la surface illuminée à la surface opposée, suivant certaines lois dont l'étude et les applications composent la dioptrique, et qu'on peut constater de la manière suivante :

« Il faut avoir (1) une platine carrée de bois ou de métal bien dressée, peinte en blanc, et de telle grandeur qu'on puisse y tracer en noir un cercle de 20 pouces de diamètre ou environ, avec les lignes et les divisions qu'on voit dans la *fig.* 36. Il faut de plus qu'il y ait aux quatre angles des vis à oreilles qui en traversent l'épaisseur, et par le moyen desquelles on puisse l'affermir et la mettre de niveau sur une table en forme de guéridon qui se hausse et se baisse à volonté, et qui tourne horizontalement sur un pivot, *fig.* 37.

» On place cet appareil dans une chambre obscure, où, par le moyen d'un miroir plan de métal placé en dehors de la fenêtre, on fait entrer, dans une direction horizontale, des rayons solaires par une ouverture de trois pouces de haut sur un de large, pratiquée au volet.

» Cette lumière est reçue d'abord sur une platine verticale de cuivre mince, placée à la circonférence du grand cercle, et qui a une ouverture un peu moins longue et moins large que celle du volet, pour diminuer un peu le jet de lumière. Cette platine est représentée séparément par la *fig.* 38.

» Comme la table, avec tout ce qu'elle porte, peut se mouvoir en tournant horizontalement, et que la platine verticale change de place, autant qu'on le veut, sur la circonférence du cercle, il est aisé de conduire le jet de lumière successivement par tous les rayons du quart de cercle OCP.

» *fgh*, *fig.* 39, est une caisse longue de 10 pouces, et qui en a 4, tant en hauteur qu'en largeur; elle est entièrement ouverte par en haut; ses quatre côtés sont faits

(1) Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale.

avec des lames de cuivre, et le fond est une glace transparente qui tient avec du mastic. Au tiers de sa longueur, le côté gh a une ouverture tout à fait semblable à celle de la platine verticale ; et afin que la caisse puisse contenir de l'eau, cette ouverture est couverte d'un morceau de verre mince attaché avec du ciment.

» Enfin, la *fig.* 40 représente un carré de crystal très-pur et sans bouillon, dont les côtés bien plans et bien parallèles entre eux ont chacun 3 pouces de long ; l'épaisseur du morceau est d'environ 2 pouces.

» Ces deux dernières pièces se placent l'une après l'autre dans le demi-cercle OpR, de manière que le côté gh soit sur la ligne OR, et que la ligne ik tombe directement sur le point C. Quand on se sert de la caisse, on l'emplit d'eau bien claire jusqu'à la moitié de sa hauteur, et l'on regarde perpendiculairement par-dessus, pour reconnaître l'endroit où répond le rayon de lumière sur le quart de cercle CpR.

» Voici ce qu'on observe :

» 1.° Si le jet de lumière dirigé comme AC rencontre l'ouverture ik de la caisse, il se divise en deux parties, dont l'une passe au-dessus de la surface de l'eau, et arrive en B, en suivant sa première direction ; l'autre se plonge dans l'eau, et s'incline en entrant vers la ligne Cp, qui est perpendiculaire au côté gh.

» 2.° On voit arriver le même effet, lorsque le rayon tombe moins obliquement sur gh, comme par les lignes DC, EC, à cela près qu'il est moins grand ; c'est-à-dire, que le rayon rompu paraît moins écarté de sa première direction ; et ce même effet devient absolument nul, quand le rayon tombe perpendiculairement, comme PC, car alors le jet de lumière ne se divise plus ; la partie qui passe dans l'air, comme celle qui traverse l'eau, suivent également la direction Cp.

» 3.° Les choses se passent de même quand on substitue le carré de verre à la caisse qui contient de l'eau ; ce qu'on remarque de plus, c'est que la réfraction que souffre la

lumière en entrant dans le verre, est plus forte, dans tous les cas où elle a lieu, que dans l'eau pure.

» 4.° Mais quoique la réfraction soit moins grande, à mesure que le rayon incident devient moins oblique à la surface du milieu réfringent, on trouve toujours un rapport constant entre l'angle aCp et celui d'incidence ACP. Ce rapport se connaît par la comparaison des lignes ad et Ae, qui sont les sinus des angles de réfraction et d'incidence, et que l'on peut voir à travers de l'eau et de la glace qui fait le fond de la caisse. L'expérience montre que la première est à la seconde dans la proportion de 3 à 4, quand le milieu réfringent est de l'eau commune, et à peu près comme 2 à 3, quand c'est du verre, et que dans l'un ou l'autre cas le rayon incident vient de l'air.

» 5.° Un rayon réfracté en a ou en tout autre endroit, et renvoyé en C par un miroir plan ou par quelque autre moyen, ne continue point cette route en ligne droite; mais il s'écarte de la perpendiculaire CP, et retourne précisément en A, d'où il était parti d'abord : ce qui a lieu dans tous les cas.

» *Lois de la réfraction de la lumière.* Nous pouvons déduire des résultats de notre expérience les propositions suivantes, que nous regarderons dorénavant comme des lois ou comme des points fixes, sur lesquels nous appuyerons tout ce que nous avons à dire touchant les effets de la lumière réfractée.

» I^ere^ LOI. Les rayons de la lumière se réfractent toujours lorsqu'ils passent obliquement d'un milieu dans un autre, qui est d'une densité ou d'une nature différente.

» II^e^ LOI. Quand la lumière se réfracte en passant d'un milieu rare dans un milieu plus dense (1), l'angle de ré-

(1) Cette loi souffre des exceptions. La plupart des matières grasses ou sulfureuses qui sont transparentes, réfractent la lumière plus fortement qu'on ne devrait s'y attendre, si l'on n'avait égard qu'à leur densité.

fraction est plus petit que l'angle d'incidence, et réciproquement, etc.

» III^e Loi. Quoique la réfraction de la lumière devienne plus ou moins grande, soit par le dégré d'obliquité de l'incidence du rayon, soit par la nature du milieu réfringent, les sinus des deux angles, de réfraction et d'incidence, demeurent toujours en rapport constant.

» IV^e Loi. La réfraction se fait en sens contraire, quand le rayon passe d'un milieu dans un autre plus rare, puisqu'un rayon réfracté qu'on oblige à retourner sur lui-même, reprend, en sortant du milieu réfringent, la direction qu'il avait dans son incidence, comme on l'a vu par le 5^e résultat, et comme on peut s'en assurer encore davantage, en multipliant cette épreuve sur le même rayon.

» V^e Loi. Le rayon réfracté et le rayon incident se trouvent toujours dans un même plan, lequel est perpendiculaire à la surface du milieu réfringent ».

La III^e loi peut s'exprimer par l'équation :

$$\frac{\text{Sin. I}}{\text{Sin. R}} = \text{N}$$

dans laquelle I représente l'angle d'incidence, R l'angle de réfraction, et N le rapport constant que nous avons vu être pour le verre, environ $\frac{3}{2}$, et qu'on nomme l'indice de réfraction.

La valeur la plus grande que puisse avoir l'angle d'incidence est 90°; alors, Sin. I = 1 et :

$$\frac{1}{\text{Sin. R}} = \text{N};$$

d'où $$\text{Sin. R} = \frac{1}{\text{N}}.$$

On voit par là que si le rayon incident passe de l'air dans une substance plus dense, comme le verre ou l'eau, l'angle de réfraction ne pourra jamais dépasser un certain angle moindre que 90°, puisque N est alors > 1.

Si le rayon incident passe d'un milieu dans un autre moins refringent, N étant dans ce cas plus petit que l'unité, toutes les fois que l'angle d'incidence sera plus grand que celui dont le sinus est N, la réfraction n'aura pas lieu.

Dans tous ces cas il y a toujours réflexion de la lumière, suivant les lois que nous avons exposées à la page 42.

La cause de la réfraction est difficile à découvrir; on n'en a encore donné aucune théorie vraisemblable. Quoique nous ne nous flattions pas d'avoir résolu la question, nous ferons cependant connaître, en expliquant le changement de direction d'un rayon qui passe du vide dans un milieu transparent, quel genre de solution nous entrevoyons qu'elle est peut-être susceptible de recevoir.

Le rayon lumineux L I, *fig.* 41, illumine (1) dans le corps transparent les parties qui se trouvent sur son prolongement jusqu'à une certaine distance I *a*; plus loin, suivant *a k*, le mouvement n'est plus suffisant pour qu'il y ait lumière, puisque le point *k* n'est pas illuminé, et le corps serait opaque (2), sans certaines circonstances dont nous devons maintenant tenir compte:

La partie illuminée I *a* exerce son action *maximum* suivant *a k*, et agit encore fortement suivant les directions peu différentes; elle exerce encore une action *maximum* suivant *a* I, et une action assez forte suivant les directions voisines. Vers la surface, les mouvemens étant très-faciles à produire, cette dernière action sera efficace, et l'espace *a b c d e f* I se trouvera illuminé, ainsi que *a g i*, de manière que l'action totale *maximum* sera plus intense et s'exercera efficacement suivant une ligne *a a'*, différente de *a k*. Dans l'intérieur du corps transparent, tout étant semblable dans toutes les directions, il n'y a pas de raison pour que l'action *ma-*

(1) Illuminer, c'est-à-dire rendre lumineux les atomes dont les positions sont les plus favorables.

(2) Ceci prouve une proposition avancée précédemment : que tous les corps sont assez bons écrans pour empêcher l'influence immédiate du corps lumineux.

ximum ne s'exerce pas toujours ensuite en ligne droite. Au reste, la lumière est transmise, comme dans le phénomène de la réflexion, dans tous les sens ; c'est ce qu'on aperçoit facilement en regardant latéralement, suivant *rs*, un rayon réfracté *aa'* dans une chambre obscure par une plaque de verre épaisse et limpide.

La facilité plus ou moins grande avec laquelle la lumière se propage, en se réfractant, à travers les corps, dépend de plusieurs causes qu'il est facile d'indiquer, mais qu'on ne peut pas mesurer, comme la forme des atomes, leur arrangement et secondairement la conducibilité : plus les corps sont bons conducteurs, et, moins, toutes choses égales d'ailleurs, ils doivent laisser facilement passer la lumière ; parce que le rayon réfracté, perdant trop de sa chaleur par conducibilité, ne reste pas lumineux ; les métaux nous en offrent un exemple remarquable.

La lumière n'étant qu'une très-vive chaleur, il est inutile de dire qu'il n'y a jamais de lumière réfractée sans chaleur, quoiqu'elle puisse quelquefois être insensible lorsqu'elle vient des corps illuminés ; mais la proposition réciproque n'est pas générale : la chaleur, quand elle n'est pas très-vive, se réfracte sans qu'il y ait aucune apparence de lumière ; les lois sont les mêmes, et tout ce que nous dirons relativement à la réfraction de la lumière à travers les corps transparens de différentes formes, s'appliquera à la réfraction de la chaleur à travers ces mêmes corps.

Ces considérations rendent nécessaires quelques changemens dans la théorie de la chaleur telle que nous l'avons exposée, au moins par rapport à ce qui se passe dans les circonstances ordinaires ; par exemple, nous voyons maintenant que la chaleur ne se transmet en quantité sensible à distance qu'à travers le vide ; dans les circonstances ordinaires, elle se propage par réfraction. Plusieurs explications de phénomènes devront aussi être un peu modifiées, parce que nous avons toujours fait abstraction des corps transparens intermédiaires dans notre premier volume ; mais, comme ce sera chose

facile, nous en laisserons le soin à nos lecteurs. Nous examinerons seulement un cas particulier. A la page 47, tom. 1^er^, nous avons expliqué la différence d'action d'un corps chaud sur un corps froid, lorsque celui-ci était plus ou moins incliné à la ligne qui les joignait tous deux ; voici ce qu'on devra substituer à ce que nous avons dit, lorsque l'espace intermédiaire, au lieu d'être vide, sera rempli, par un corps transparent, de l'air ; par exemple :

Le faisceau de rayons lumineux *abcd*, *fig.* 42, agit par sa surface *bc* seulement sur la surface du corps *bc*, et lui communique à chaque instant une certaine quantité de chaleur ; cette quantité serait la même évidemment si *bc* était remplacé par une surface *bc'* double ; et il résulte de là que, à cause de son obliquité, cette nouvelle surface ne recevrait qu'une quantité de chaleur proportionnellement moindre de moitié, et que le corps qu'elle recouvrirait s'échaufferait beaucoup moins vîte.

Nous pouvons aussi maintenant faire concevoir comment il est possible que la terre s'échauffe plus vîte que l'air par l'action du soleil :

L'air est le moyen de communication ; les rayons lumineux dont il est traversé dans toutes les directions sont composés seulement des atomes dont les positions sont le plus favorables, et cette substance est un assez mauvais conducteur pour que ces atomes cèdent peu de leur chaleur à la masse atmosphérique ; c'est, au reste, ce que prouve sa transparence (*voy.* pag. 80). Parvenus à la surface terrestre, les rayons ainsi réfractés agissent par leurs extrémités sur la matière qui la compose ; et, comme cette matière est meilleur conducteur, ils s'éteignent sans pouvoir la traverser, et toute la chaleur communiquée par eux est employée à élever plus ou moins la température générale d'une couche peu profonde.

Applications. « Un des effets de la réfraction qu'on remarque le plus, et dont on est toujours surpris quand on en ignore la cause, c'est l'inflexion apparente d'un bâton

que l'on plonge obliquement dans l'eau ; tout le monde sait qu'au lieu de paraître droit, il semble brisé au point C, *fig.* 43, et former l'angle AC*b*. Si l'on veut comprendre comment cela se fait, il faut considérer que chaque point éclairé de la partie plongée du bâton devient visible par un faisceau de lumière qui passe obliquement de l'eau dans l'air, où l'on suppose que l'œil est placé : or, ce jet de lumière passant ainsi d'un milieu dense dans un autre qui l'est moins, doit se réfracter en s'écartant de la perpendiculaire PD ; ainsi l'œil aperçoit le point B par la pyramide de lumière DE, dont les rayons convergent en *b*, qui devient par là le lieu apparent de l'objet. Si vous faites le même raisonnement pour tous les points visibles F, G, H, etc., vous trouverez que leurs images doivent être dans la ligne *b*C, laquelle fait un angle avec la partie du bâton qui est hors de l'eau.

» On explique de même comment une pièce d'argent placée au fond d'un vaisseau qui n'est pas de matière transparente, devient visible à l'œil qui ne pouvait pas l'apercevoir lorsqu'on la couvre d'une masse d'eau d'une certaine épaisseur ; car on voit que le rayon RS qui passerait au-dessus de l'œil, s'il n'y avait pas de réfraction, venant à s'écarter de la perpendiculaire PS, lorsqu'il passe de l'eau dans l'air, se dirige vers T, et fait voir l'image de la pièce en *r*, comme si l'objet s'était élevé.

» Nous voyons donc au-dessus de son vrai lieu tout ce que nous apercevons dans l'eau par des rayons obliques ; et c'est à quoi l'on doit faire attention, lorsqu'on tire sur le poisson d'un étang : on le manquerait certainement, si l'on tirait à l'endroit où on le voit, pour deux raisons ; 1° parce qu'il est plus bas que le lieu où il paraît être ; 2° parce que la balle souffrant une réfraction en sens contraire de celle de la lumière, s'élève nécessairement au-dessus de la direction qu'on a l'intention de lui donner.

» Comme, étant placés dans l'air, nous apercevons dans l'eau des objets que les bords du bassin nous cacheraient,

si la lumière qui en vient ne souffrait pas de réfraction, en passant de l'un de ces milieux dans l'autre, réciproquement les animaux qui, étant sous l'eau, regardent dans l'air, par des rayons obliques, découvrent ce qui ne serait pas à la portée de leurs yeux, s'ils ne devaient voir que par des rayons directs. L'œil placé en R aperçoit ce qui est en T, comme lorsqu'il est en T, il voit ce qui est en R; mais au lieu de le rapporter à sa vraie place, il le juge en *t*.

» Cette dernière remarque est d'une grande conséquence pour l'astronomie. Il suit de là que nous voyons les astres sur l'horizon le matin et le soir, quelque temps avant qu'ils y soient arrivés et après qu'ils sont descendus au-dessous; car l'atmosphère terrestre étant un milieu plus dense que celui par lequel passe la lumière des astres, qui est probablement le vide, avant d'y arriver, le rayon qui part de l'étoile S, *fig.* 44, lorsqu'elle est encore au-dessous de l'horizon H*h*; ce rayon, dis-je, qui passerait en droite ligne vers V, venant à se réfracter en *c*, en s'approchant de la perpendiculaire *pp*, parvient à l'œil du spectateur qu'on suppose en *t*, et lui fait voir l'étoile, comme si elle était en *s* au-dessus de l'horizon.

» Après le lever de l'astre, son lieu apparent diffère encore de son lieu réel, par la même raison : mais à mesure qu'il s'élève, cet effet va toujours en diminuant; parce que l'incidence de ses rayons R*r*, X*x*, devenant de moins en moins oblique à la surface de l'atmosphère terrestre, la réfraction devient moins grande à proportion, jusqu'à ce qu'enfin l'astre étant parvenu au zénith, ou à une hauteur qui en approche, ses rayons, comme Z*z*, tombent directement ou à peu près, et le représentent au vrai lieu où il est.

» Les effets, dont je viens de faire mention, nous apprennent déjà que la réfraction de la lumière change souvent la position ou le lieu de l'objet, en nous le faisant voir où il n'est pas; nous verrons aussi que la même cause influe sur la figure, la grandeur, la distance et la situation :

mais comme toutes ces apparences dépendent de la position respective des rayons qui tracent les images au fond de l'œil, il est à propos, avant d'entrer dans ce détail, de faire voir, par des faits simples, comment des rayons réfractés s'arrangent entre eux, étant données leurs incidences, et la figure des surfaces réfringentes.

» Quand deux milieux se touchent, la surface du plus dense ne peut être que plane, convexe ou concave; et les rayons incidens qui viennent plusieurs ensemble pour la traverser, sont ou parallèles entre eux, ou convergens, ou divergens ».

Nous allons examiner ce qui arrive dans ces différens cas :

Le milieu traversé étant plus dense et terminé par des surfaces planes et parallèles :

1.° Les rayons étant tous parallèles, se réfracteront évidemment de la même quantité et resteront parallèles, tant après leur entrée qu'après leur sortie (*voy.* fig. 45); de plus, leurs directions après leur sortie et avant leur entrée seront parallèles; c'est une conséquence de la IV^e^ loi (*voy.* pag. 78).

2.° Etant convergens, ils auront après leur sortie le même dégré de convergence qu'avant leur entrée; cela résulte de ce que chaque rayon en particulier est, après sa sortie, parallèle à la direction qu'il avait avant son entrée; mais dans le milieu réfringent ils seront moins convergens, de sorte que leur point de concours se trouvera plus éloigné qu'il ne l'eût été sans la réfraction. C'est ce qu'on prouve facilement : La *fig.* 46 représente deux rayons incidens aic, bIc convergens, les rayons réfractés prolongés sont ic' et Ic'; l'angle idI, comme extérieurs aux deux triangles idc et Idc', égale la somme des angles c et i ou la somme des angles c' et I, donc ces deux sommes sont égales entre elles. Or l'angle I surpasse l'angle i; car le rayon incident bI étant plus incliné sur la surface mn, se réfracte davantage; on a donc, par compensation, l'angle c' plus petit que l'angle c, c'est-à-dire que les rayons réfractés sont moins convergens que les rayons incidens.

Les rayons incidens pourraient ne pas être situés d'un même côté de la perpendiculaire, abaissée de leur point de rencontre sur la surface réfringente (*voy.* fig. 47); la démonstration ne serait pas pour cela plus difficile. Après avoir mené $c'ck$, on aurait :

$$\text{angle } Kci = \text{angle } i + \text{angle } Kc'i,$$
$$\text{angle } KcI = \text{angle } I + \text{angle } Kc'I,$$

d'où on tire, en ajoutant ces deux équations membre à membre,

$$\text{angle } icI = \text{angle } c' + \text{angle } i + \text{angle } I :$$

ainsi l'angle c' est encore plus petit que l'angle c.

Les rayons incidens pourraient aussi ne pas être dans un même plan avec la perpendiculaire, abaissée de leur point de rencontre sur la surface réfringente : il faut concevoir alors un plan passant par le rayon incident aic et le rayon réfracté ic', ce plan étant perpendiculaire à la surface réfringente (*voyez* pag. 78, V^e^ loi), contiendra la perpendiculaire à cette surface, menée du point c; il en sera de même du plan conduit par le rayon incident bIc et le rayon réfracté Ic' : cette perpendiculaire sera donc leur intersection, et dans le triangle $ic'I$, les lignes ic' et Ic' qui sont plus longues, comme obliques, s'écartant plus du pied m de la perpendiculaire, que ic et Ic, formeront entre elles, dans les circonstances ordinaires, un angle c' plus petit que l'angle c.

Si les rayons ne se coupaient pas, on jugerait de leur dégré de convergence par les angles que formeraient des parallèles qu'on leur mènerait par un même point.

3.° Etant divergens, ils conserveront après leur sortie le même dégré de divergence qu'avant leur entrée; cela résulte de ce que chaque rayon est après sa sortie parallèle à la direction qu'il avait avant son entrée; mais dans le milieu réfringent ils seront moins divergens, et il suffit pour le démontrer, de prendre dans les figures précédentes les rayons émergens pour rayons incidens, et réciproquement.

Le milieu traversé étant moins dense et terminé par des surfaces planes et parallèles :

4.° Les rayons étant parallèles, conserveront leur parallélisme.

5.° Etant convergens, leur convergence augmentera au moment de leur entrée, et diminuera précisément d'autant au moment de leur sortie.

6.° Etant divergens, leur divergence augmentera au moment de leur entrée, et diminuera précisément d'autant au moment de leur sortie.

Ces effets sont contraires à ceux qui ont lieu quand le milieu est plus dense; nous ne les démontrons pas, parce qu'on peut employer pour y arriver des raisonnemens tout-à-fait analogues.

Applications. « Le principe démontré pag. 84 1°, nous apprend (1) pourquoi les verres plans semblables à ceux qu'on met aux fenêtres, les glaces dont on fait les miroirs, etc., ne peuvent servir à condenser la lumière solaire qui les traverse : ces rayons étant comme parallèles entre eux, ne peuvent jamais être plus inclinés les uns que les autres à un seul plan ; ainsi les surfaces réfringentes qui sont droites ne changent rien à leur position respective. Il en est de même des eaux dormantes, dont la superficie se met de niveau dans toute son étendue ; on ne voit jamais que ces masses liquides, quelque transparentes et réfringentes qu'elles soient, donnent occasion à la lumière parallèle de former des foyers dans leur sein.

» Quand les milieux plus denses que l'air ont des surfaces droites, et qu'ils sont fort minces, leur interposition ne cause pas de changemens sensibles dans les images : au travers des vitres ou d'une glace de carrosse, on voit à peu près de la même manière qu'on verrait à la vue simple dans un milieu homogène; mais quand il y a une grande épaisseur, l'objet qui n'est pas fort éloigné du milieu réfringent

(1) Abbé Nollet, Leçons de Physique expérimentale.

paraît plus près et plus grand ; souvent sa figure change et sa clarté diminue.

» Les rayons divergens qui sortent d'un verre plat fort épais ou d'un vase plein d'eau pour entrer dans l'air, deviennent plus divergens qu'ils ne l'étaient dans le corps transparent ; c'est ce qui a été démontré. S'ils entrent dans l'œil après une telle émersion ; ils semblent venir d'un point moins éloigné que celui d'où ils sont partis ; l'apparence du point radieux E, par exemple, *fig.* 48, est en *e*, et ainsi de tous les autres points visibles d'un même corps ; celle du point *k* serait en *i*.

» Voilà pourquoi le poisson que nous voyons dans l'eau nous paraît plus élevé vers la surface qu'il ne l'est réellement : le chasseur qui aurait dessein de le tuer d'un coup de fusil, doit avoir égard à cette apparence trompeuse ; car la charge de plomb ne peut percer qu'une certaine épaisseur d'eau, laquelle se trouvant plus grande qu'on ne l'a estimée, peut mettre le poisson hors d'atteinte.

» De même le fond d'un vase, d'un bassin, d'une rivière ne nous paraît jamais aussi bas qu'il l'est, à cause de l'eau qui le couvre : quand on descend dans un bain, on est toujours surpris de le trouver plus profond qu'on ne s'y attendait ; et quand on se presse de prendre quelque chose dans l'eau, il arrive très-souvent qu'on porte la main plus avant qu'on ne croyait devoir le faire, et qu'on mouille la manche de son habit pour avoir jugé la profondeur plus petite qu'elle n'est.

» Lorsqu'on regarde à travers une grande épaisseur d'eau, si les parties de l'objet qui semblent s'élever vers la surface souffraient toutes un déplacement égal, la figure apparente serait toujours conforme à ce qu'elle représente ; car dans l'image, comme dans l'objet, la figure dépend de la position respective des parties, à laquelle un mouvement commun n'apporte pas de changement : mais le déplacement égal n'a pas lieu dans les cas où l'objet est d'une grande étendue ; car les rayons qui viennent des extrémités les plus éloignées

de l'œil, tombant plus obliquement que les autres sur la surface de l'air, se réfractent davantage; les faisceaux ou pyramides de lumière divergente se dilatent vers l'œil, de manière que leurs points de réunion, où en sont les images, se rapprochent davantage de la surface réfringente, et dans un rapport trop grand pour conserver à l'image totale une conformité parfaite avec son objet. L'œil placé en *k*, *fig.* 48, pour voir au fond de l'eau un grand objet droit ou une suite d'objets rangés dans une ligne droite comme *gd*, *eg*, non seulement aperçoit le tout ensemble plus près de lui, mais les extrémités *g*, *g* lui paraissent encore plus rapprochées que les autres parties *d*, *o*, ce qui forme une courbure dont la concavité est tournée vers le spectateur. C'est ainsi qu'un tuyau de plomb couché sur le fond d'un bassin ne paraît pas droit quoiqu'il le soit, et que le fond du bassin lui-même semble plus creux au milieu que vers les bords, quoiqu'il le soit également partout.

» Les milieux denses fort épais, quoiqu'avec des surfaces planes, nous font voir les objets plus grands qu'ils ne le sont; le poisson paraît plus gros dans l'eau que quand on l'en a tiré; le gravier, les pierres, les plantes nous trompent de même quand nous les voyons au fond des bassins, des fontaines, des rivières, etc.; les espaces nous paraissent aussi plus étendus, les limites qui les comprennent nous semblent laisser entre elles une plus grande distance : tout cela vient de ce que des rayons convergens le deviennent davantage en sortant de l'eau pour entrer dans l'air. Qu'on imagine pour un moment que *g*, *g*, *fig.* 48, soient les extrémités opposées d'un objet que l'on aperçoit au fond de l'eau par les rayons *gh*, *gh*, l'œil placé en *k* juge de la grandeur de cet objet par l'angle *GkG*, plus grand que *gkg*; et comme la même chose arrive pour toutes les dimensions du corps que l'on voit ainsi, il s'ensuit que tout ce qu'on regarde au travers d'un milieu fort épais et plus dense que l'air doit paraître amplifié, comme cela arrive en effet.

» Ayant l'œil placé directement au-dessus d'un vase plein

d'eau ou de quelque autre liqueur limpide, si je regarde une pièce de monnaie ou quelque autre chose semblable qui soit au fond et suffisamment éclairée, je la vois plus grande que dans l'air; mais elle ne me paraît plus hors de sa place, comme celle dont j'ai fait mention en parlant des effets de la réfraction de la lumière en général. Je comprends la raison de ce dernier effet, en considérant que dans le cas dont il s'agit, mon œil aperçoit une partie de la pièce (son centre, par exemple) par un faisceau de rayons dont l'axe ne souffre point de réfraction, passant perpendiculairement de l'eau dans l'air; cette partie de la pièce se voit donc dans son vrai lieu ou dans sa direction naturelle; les autres sont vues par des rayons obliques, par conséquent réfractés, qui les écartent en apparence de la première qui est comme immobile : par là l'objet paraît amplifié, mais non pas déplacé quant à direction; la figure même n'en est pas sensiblement altérée, si l'on dirige son regard de façon que le rayon direct vienne du milieu de l'objet qu'on se propose de voir, à moins que cet objet ne soit fort grand.

» Un morceau de verre épais dont les faces opposées, quoique planes, sont inclinées l'une vers l'autre, fait toujours voir les objets hors de leurs vrais lieux, parce que, de quelque façon qu'on s'y prenne en regardant au travers de ces corps transparens, tous les rayons qui viennent à l'œil, sans en excepter aucun, souffrent au moins une réfraction, soit en entrant, soit en sortant; je dis au moins une réfraction, car si quelqu'un des rayons incidens est oblique à l'une des deux surfaces, et qu'après être entré il soit encore oblique à l'autre, il sera réfracté deux fois, comme on peut le voir par la *fig.* 49 ».

L'angle que fait le rayon réfracté *b a* avec la normale *a n'* au point d'émergence, peut prendre toutes sortes de valeurs; il dépend de l'angle réfringent, c'est-à-dire, de l'inclinaison mutuelle des deux faces IH et LK, et de l'angle d'incidence B*b n*. Sans nous arrêter à calculer et à discuter la relation qui existe entre ces trois quantités, nous ferons seulement re-

marquer que si l'angle *ban'* surpasse l'angle *limite* dont il a été parlé page 78, l'émergence ne pourra pas avoir lieu, et le rayon lumineux *ba* sera seulement réfléchi par la face KL, sans pouvoir passer au-delà.

L'angle A*ed*, que fait le rayon émergent avec le rayon incident prolongé, est ce qu'on nomme la déviation du rayon lumineux; il est évident, après l'inspection de la figure, qu'il est situé de telle sorte que le rayon lumineux, en traversant le prisme, s'éloigne de son *sommet* (on appelle ainsi l'intersection des faces TH et KL). La grandeur de l'angle de déviation varie évidemment avec celle de l'angle réfringent et avec la position du rayon incident; ce dernier effet est facile à constater par l'expérience, en regardant un objet à travers un angle d'un prisme en verre, et faisant tourner le prisme en commençant par une position extrême. La direction de l'image de l'objet paraît d'abord écartée d'une certaine quantité de celle du lieu de l'objet; cet écartement commence par diminuer, puis il augmente et redevient ce qu'il était d'abord. Il est évident qu'il est *minimum* au moment où il cesse de diminuer; on démontre par le calcul que l'angle d'émergence est alors égal à l'angle d'incidence, et par suite que le rayon réfracté forme avec les deux côtés de l'angle réfringent un triangle isoscèle.

On peut tirer de là une formule importante qui permet de trouver l'indice de réfraction pour chaque substance par la seule observation de la déviation *minimum* :

Soit d cette déviation, a l'angle réfringent, i l'angle d'incidence et r l'angle de réfraction, on aura évidemment (*fig.* 50) :

$$d = 2i - 2r.$$

D'ailleurs, l'angle r et l'angle I*ac* qui est la moitié de l'angle a, sont égaux comme étant tous deux complémens de l'angle *a*I', de sorte que $2r = a$; on aura donc aussi en substituant :

$$d = 2i - a ;$$

ou encore, en résolvant par rapport à i :

$$i = \frac{d + a}{2}.$$

Mettant cette valeur de l'angle d'incidence, ainsi que la valeur $\frac{a}{2}$ trouvée plus haut pour l'angle de réfraction dans la formule de la page 76, elle devient :

$$\frac{\text{Sin.} \left(\frac{d+a}{2}\right)}{\text{Sin.} \left(\frac{a}{2}\right)} = \text{N}.$$

Lorsqu'on veut faire usage de cette équation pour déterminer la valeur de N, on mesure d'abord l'angle réfringent a avec le goniomètre de Wollaston, ou par tout autre moyen susceptible de donner des résultats exacts ; puis, pour observer la déviation *minimum*, on dispose le prisme verticalement sur un alidade mobile, en un lieu d'où l'on puisse apercevoir une mire très-éloignée, et on place, à quelques pas de là, un cercle répétiteur de telle sorte que le limbe soit horizontal, et à la même hauteur que le prisme et la mire. On dirige ensuite une des lunettes sur un point remarquable de la mire, et on la fixe ; après quoi, ayant donné à l'autre une position telle qu'elle laisse apercevoir l'image réfractée du même point de la mire sur le prolongement de son axe, on fait mouvoir le prisme et on suit l'image avec la lunette qu'on fixe aussi, lorsqu'on a reconnu la position où l'image est le moins déviée. L'angle des deux lunettes peut alors être pris pour d sans erreur sensible, à cause de la grande distance du point observé.

En mettant ces valeurs de a et de d à la place de ces lettres dans la formule précédente, on peut calculer facilement celle de N.

Pour les liquides, on perce un angle d'un prisme de part en part, et on pratique aussi dans la base un trou qui com-

munique avec le premier ; puis, après avoir fermé les ouvertures de celui-ci par deux petites lames de verre à faces bien parallèles appliquées sur les côtés de l'angle, on le remplit du liquide qu'on veut mettre en expérience par le trou pratiqué dans la base, lequel est ensuite bouché à l'émeri. Cette préparation faite, le procédé est exactement le même.

Nous allons donner un tableau des résultats obtenus pour diverses substances; il est extrait de l'encyclopédie de M. Brewster: les expériences où le nom de l'auteur n'est pas indiqué sont de ce savant :

Tableau des indices de réfraction.

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Chromate de plomb, *maximum.*	2,974	
Id. id. autre espèce.	2,926	
Argent rouge.	2,564	
Réalgar artificiel.	2,549	
Chromate de plomb, *minimum.*	2,500	
Anatase.	2,500	
Diamant.	2,755	Rochon.
Id.	2,487	
Id.	2,470	
Id.	2,439	Newton.
Sulfure de zinc.	2,260	
Phosphore.	2,224	
Verre d'antimoine.	2,216	
Id. id.	1,980	
Soufre fondu.	2,148	
Id. natif.	2,115	
Id. id.	2,040	Wollaston.
Id. id.	1,958	Haüy.
Oxide lamellaire de fer. . . .	2,100	Young.
Verre, 3 de plomb et 1 de flint.	2,028	Zeiher.
Tungstate de chaux, *maximum.*	2,129	
Id. id. *minimum.*	1,970	

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Carbonate de plomb, *maximum.*	2,084	
Id. id *minimum.*	1,813	
Protochlorure de mercure. . .	1,970	
Zircon, *maximum.*	2,015	
Id. *minimum.*	1,961	
Id.	1,950	Wollaston.
Verre, 2 plomb, 1 de sable. .	1,987	Id.
Sufate de plomb.	1,925	
Verre d'antimoine.	1,889	Newton.
Verre, 2 plomb, 1 de flint. .	1,830	Zeiher.
Grenat.	1,815	
Spinelle rouge.	1,812	Wollaston.
Arsenic.	1,811	Id.
Saphir bleu.	1,794	
Id. blanc.	1,768	Wollaston.
Pyrope.	1,792	
Nitrate d'argent, *maximum.* .	1,788	
Id. id. *minimum.*	1,729	
Verre, 1 de plomb, 1 de flint. .	1,787	Zeiher.
Rubis.	1,779	
Feldspath.	1,764	
Chrysobéril.	1,760	
Nitrate de plomb.	1,758	
Verre, 3 de plomb, 4 de flint. .	1,732	
Id. 1 de plomb, 2 de flint. .	1,724	
Axinite.	1,735	
Verre coloré en rouge foncé. .	1,729	
Verre coloré en rouge par l'or. .	1,715	
Epidote, *maximum.*	1,703	
Id. *minimum.*	1,661	
Carbonate de strontiane, *maxim.*	1,700	
Id. id. *minim.*	1,543	
Boracite.	1,701	
Verre coloré en oranger. . . .	1,695	
Sulfure de carbone.	1,678	
Chrysolite, *maximum.* . . .	1,685	
Id. *minimum.* . . .	1,660	
Aragonite, *réf. ordinaire.* . .	1,6931	Malus.

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Aragonite, *réf. extraordinaire.*	1,5348	Malus.
Spath calcaire, *réf. ordinaire.*	1,6543	Id.
Id. id. *réf. extraord.*	1,4833	Id.
Sulfate de baryte.	1,6468	Id.
Id. id. *réf. extraord.*	1,6352	Id.
Id. id. *réf. ordinaire.*	1,6201	Biot.
Topaze incolore.	1,6102	Id.
Id. du Brésil, *réf. extraord.*	1,6401	Id.
Id. id. *réf. ordinaire.*	1,6325	Id.
Antydrite, *réf. extraordinaire.*	1,6219	Id.
Id. *réf. ordinaire.*	1,5772	Id.
Euclase, *réf. extraordinaire.*	1,663	Id.
Id. *réf. ordinaire.*	1,6429	Id.
Perle.	1,653	
Verre rouge, hyacinthe.	1,647	
Huile de cassia.	1,641	
Verre opale.	1,635	
Baume de tolu.	1,628	
Castor.	1,626	
Hydrochlorate d'ammoniaque.	1,625	
Gayac.	1,619	
Flint-glass.	1,616	
Id. autre espèce.	1,604	
Meïonite.	1,606	
Flint-glass.	1,60512	Malus.
Id.	1,576	
Autre espèce.	1,596	
Flint-glass, différentes espèces.	1,625 1,604 1,594 1,593 1,590	Boscowich.
Huile d'amandes amères.	1,603	
Verre vert.	1,615	
Id. pourpre.	1,608	
Huile d'anis.	1,601	
Baume du Pérou.	1,597	
Gomme ammoniaque.	1,592	

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Ecaille de tortue.	1,591	
Poix.	1,586	
Baume styrax.	1,584	
Verre de bouteilles.	1,582	
Acide tartarique.	1,575	
Id. id.	1,518	
Verre rose.	1,570	
Corne.	1,565	
Quartz, *réf. extraordinaire.* .	1,558	Malus.
Id. *réf. ordinaire.* . . .	1,548	Id.
Mellite.	1,556	
Id.	1,538	
Gomme mastic.	1,560	
Poix de Bourgogne.	1,560	
Résine.	1,559	
Térébenthine.	1,557	
Sel gemme.	1,557	
Sucre fondu.	1,554	
Encens.	1,554	
Comptonite.	1,553	
Calcédoine.	1,553	
Sulfate de cuivre, *maximum.*	1,552	
Id. id. *minimum.*	1,531	
Copal.	1,549	
Baume du Canada.	1,549	
Résine élémi.	1,547	
Huile de tabac.	1,547	
Verre en feuille.	1,542	Boscowich.
Id. id.	1,538	Id.
Id. id.	1,529	Id.
Id. id.	1,526	Id.
Id. id.	1,514	Id.
Vieux verre en feuille. . . .	1,545	
Dichroïte.	1,544	
Glace de Saint-Gobin. . . .	1,543	Wollaston.
Colophane.	1,543	Id.
Cire.	1,542	Id.
Gomme oliban.	1,544	

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Acide phosphorique solide.	1,544	
Carbonate de baryte, *minimum*.	1,540	
Crown-glass.	1,534	
Caoutchouc.	1,534	
Id.	1,524	Wollaston.
Crown-glass.	1,533	Id.
Verre de borax.	1,532	
Verre de phosphore.	1,532	
Huile de sassafras.	1,532	
Id. id.	1,536	Wollaston.
Id. id.	1,544	Euler.
Huile de girofle.	1,535	Wollaston.
Cristallin de poisson, au centre.	1,530	Id.
Cristallin de bœuf desséché.	1,530	Id.
Verre.	1,580	
Baume de copahu.	1,528	
Leucite.	1,527	
Verre en feuille.	1,527	
Acide citrique.	1,527	
Laque en écaille.	1,525	
Crown-glass.	1,525	Wollaston.
Sulfate de chaux.	1,525	Id.
Verre de borax, 1 de borax et 2 de silice.	1,522	
Gomme adragante.	1,520	
Mésotype, *maximum*.	1,522	
Id. *minimum*.	1,516	
Nitre, *maximum*.	1,514	
Id. *minimum*.	1,335	
Id.	1,524	Newton.
Tartrace de potasse et de soude.	1,515	
Verre en feuille d'Hollande.	1,517	
Sulfate de zinc, *réfr. ordinaire*.	1,517	
Madelstein.	1,515	
Cire, 17°,5 cent.	1,512	Malus.
Id. fondante.	1,450	Id.
Id. au point d'ébullition.	1,442	Id.
Gomme arabique.	1,512	

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Sulfate de potasse.	1,509	
Id. id.	1,495	Wollaston.
Huile de cumin.	1,508	
Stilbite.	1,508	
Huile de noix.	1,507	
Id. de piment.	1,507	
Id. de fenouil.	1,506	
Id. d'ambre.	1,505	Wollaston.
Id. de bois de Rhodes. . .	1,500	
Id. de faîne.	1,500	
Id. de muscade.	1,497	Wollaston.
Baume de soufre.	1,497	
Sulfate de fer, *maximum*. . .	1,494	
Huile d'angélique.	1,493	
Id. de marjolaine. . . .	1,491	
Id. de carvi.	1,491	
Id. de riccin.	1,490	
Obsidienne.	1,488	
Suif froid.	1,490	Wollaston.
Sulfate de magnésie. . . .	1,488	
Id. id.	1,465	
Huile d'hyssope.	1,487	
Camphre.	1,487	
Huile de fenugrec.	1,487	
Id. de cajeput.	1,483	
Id. d'amandes.	1,483	
Id. de sabine.	1,482	
Id. de pouillot.	1,482	
Sulfate d'ammoniaq. et de magnés.	1,483	
Carbonate de potasse. . . .	1,482	
Huile de limon.	1,479	
Id. de menthe sauvage. . .	1,481	
Beurre froid.	1,480	Wollaston.
Opole en partie hydrophane. .	1,479	
Huile de thym.	1,477	
Id. d'aneth.	1,477	
Essence de limon.	1,476	Wollaston.
Huile de térébenthine. . . .	1,475	

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Huile de térébenthine commune.	1,476	Wollaston.
Id. rectifiée.	1,470	Id.
Id. de raves.	1,475	
Borax.	1,475	
Huile de genièvre.	1,473	
Id. de hêtre.	1,471	
Id. de bergamotte.	1,471	
Id. d'olive.	1,470	
Spermaceti.	1,470	
Huile de romarin.	1,469	
Id. d'olive.	1,467	Newton.
Id. id.	1,469	Wollaston.
Id. de lavande.	1,467	Id.
Suif fondu.	1,464	Id.
Huile de pavots.	1,463	
Id. de lavande.	1,457	
Alun.	1,457	Wollaston.
Huile de camomille.	1,457	
Id. d'absinthe.	1,453	
Cristallin de bœuf.	1,463	Euler.
Id. id.	1,447	Wollaston.
Spermaceti fondu.	1,446	Id.
Acide hydrophosphorique.	1,442	
Id. sulfurique.	1,440	
Id. id.	1,435	Wollaston.
Id. id.	1,428	Newton.
Spath fluor.	1,436	
Id. id.	1,433	Wollaston.
Huile de rhue.	1,433	
Acide phosphorique liquide.	1,426	
Id. nitrique, densité 1,48.	1,410	Wollaston.
Id. hydrochlorique très-concentré.	1,410	Biot.
Id. id. concentré.	1,401	
Id. nitrique.	1,406	
Id. nitreux.	1,396	
Id. acétique.	1,396	
Id. malique.	1,395	

NOMS DES SUBSTANCES.	INDICES de réfraction.	NOMS des observateurs.
Alcohol.	1,374	
Id.	1,370	Wollaston.
Huile d'ambre gris.	1,368	
Blanc d'œuf.	1,361	
Id. id.	1,351	Euler.
Albumine.	1,360	Wollaston.
Ether.	1,358	Id.
Colle de poisson.	1,345	
Cryolite.	1,349	
Vinaigre distillé.	1,344	Euler.
Eau salée.	1,343	
Humeur aqueuse de l'œil. . .	1,337	
Humeur vitrée.	1,339	
Enveloppe extérieure du cristalin	1,377	
Enveloppe moyenne.	1,379	
Id. centrale.	1,399	
Cristalin entier.	1,384	
Eau.	1,336	
Glace.	1,310	Wollaston.
Id.	1,307	
Tabashir.	1,111	
Air.	1,000276	Bradley.
Vide.	1,000000	

« Si un verre est taillé de manière qu'une de ses surfaces soit en partie parallèle à l'autre, en partie inclinée, il pourra faire voir l'objet en même temps dans deux lieux différens, comme il arrive quand une glace de carrosse est terminée par un large biseau, et qu'on dirige ses regards vers les bords, pour voir les objets extérieurs.

» C'est en conséquence de cet effet, qu'on travaille exprès des verres à plusieurs facettes, qu'on nomme *multiplians*, parce qu'en effet ils multiplient l'image d'un objet qu'on regarde au travers de leur épaisseur. Après ce que je viens

de dire touchant les corps réfringens terminés par des surfaces inclinées, l'inspection seule de la *fig.* 51 suffit pour faire comprendre la raison de cette multiplication d'images. Car on peut remarquer que les quatre faces *a c*, *c d*, *d e* et *e b*, étant toutes inclinées à la grande face *a b*, font converger chacune séparément vers le même œil E, des rayons qui partent des extrémités opposées de l'objet F. D'où il arrive que ceux qui tombent sur *a c*, après les deux réfractions, produisent une image en G ; ceux qui tombent sur la facette *c d*, une autre image en H ; et enfin ceux qui passent par *d e* et par *e b*, représentent le même objet séparément en I et en K, ce qui fait autant d'images que de facettes.

« On voit distinctement et complétement l'image par toutes les facettes, lorsque chacune d'elles reçoit des rayons de toutes les extrémités opposées de l'objet, qu'après les réfractions ces rayons sont convergens vers un même endroit, et que les faisceaux qui appartiennent à chaque point visible ont conservé ou repris un peu de divergence : la première et la seconde de ces conditions venant à manquer, chaque facette ne fait voir qu'une partie de l'objet ; sans la troisième, on ne voit rien que très-confusément. Pour éviter ces défauts, on ne doit regarder avec ces sortes de verres les grands objets que de loin, et de près seulement les petits : il faut encore leur donner des faces d'une certaine largeur, lesquelles, par leurs inclinaisons respectives, ne forment pas une trop grande convexité, et enfin ne les approcher pas trop près de l'œil. On verra mieux comment il faut user de ces précautions, et les effets qu'on en peut attendre, quand nous aurons parlé de la vision à travers les milieux réfringens, terminés par des surfaces convexes sphériques. »

La *fig.* 52 représente la marche des rayons lumineux qui viennent en divergeant rencontrer la surface convexe d'un milieu plus dense que celui d'où ils sortent ; *c m* et *c n* sont les normales menées au point d'incidence. On sait que dans

la sphère ces lignes en sont toujours des rayons (1); L i et L i' représentent les rayons incidens; i' L′ et i L′ les rayons réfractés. L'angle $d\,i'\,c$ surpasse l'angle $e\,i\,c$, car il est égal à L + s comme extérieur au triangle $i'\,s$ L, et l'angle s lui-même égale $e\,i\,c$ + c comme extérieur au triangle $s\,i\,c$, ce qui donne

$$\text{Angle } d\,i'\,c = \text{angle } e\,i\,c + \text{angle L} + \text{angle } c\,;$$

et on peut conclure de là que l'angle $d\,i'$ L′ surpasse l'angle $e\,i$ L′ (*voy.* pag. 76) d'une quantité *plus* ou *moins* grande, suivant que la différence angle $d\,i'\,c$ — angle $e\,i\,c$, ou ce qui est la même chose, d'après l'équation précédente, suivant que la somme angle L + angle c est elle-même *plus* ou *moins* considérable.

Cela posé, il est évident que les rayons, en se réfractant, se rapprocheront l'un de l'autre, d'autant plus que la différence angle $d\,i'$ L′ — angle $e\,i$ L sera plus grande, de sorte que *ils deviendront moins divergens, parallèles ou convergens*, suivant que cette quantité sera *plus petite* que l'angle L, *égale* à cet angle, *ou plus grande*.

En prenant pour rayons réfractés les rayons incidens et réciproquement, on voit que les mêmes effets auront lieu si des rayons incidens divergens passent d'un milieu plus dense dans un milieu moins dense par une surface concave. Ainsi on peut dire que dans ces deux cas la réfraction tend toujours à rendre les rayons convergens.

On démontre facilement par des considérations analogues, au moyen des *fig.* 53 et 54, que les rayons deviendraient toujours *convergens* ou *plus convergens* dans les mêmes circonstances, si dans leur incidence ils étaient *parallèles* ou *convergens*.

Lorsque les rayons incidens passent d'un milieu plus dense dans un moins dense, en traversant une surface convexe;

(1) L'observation que nous avons faite à la *pag.* 53 relativement à l'application de la loi de la réflexion doit être reproduite ici.

ou d'un milieu moins dense dans un plus dense, en traversant une surface concave, les effets de la réfraction sont précisément contraires. Elle tend toujours à rendre les rayons divergens, de sorte que si, dans leur incidence, ils sont *divergens*, *parallèles* ou *convergens*, ils deviendront, après avoir traversé la surface réfringente, *plus divergens*, *divergens*, et, dans le troisième cas, *moins convergens*, ou *parallèles* ou *divergens* : cela résulte de ce que la réfraction se fait alors en sens contraire, et peut d'ailleurs être démontré directement au moyen de raisonnemens analogues à ceux que nous avons faits précédemment (*voy.* les fig. 55, 56 et 57).

La différence angle $d i' c$ — angle $e i c$, et par suite la différence $d i' L'$ — angle $e i L'$ (*voy.* pag. 101) étant d'autant plus grandes, toutes choses égales d'ailleurs, que l'angle c est lui-même plus grand, on voit que plus une surface sphérique réfringente est courbe (c'est-à-dire a un petit rayon), plus son effet est grand.

Les lentilles sont des corps transparens terminés par des surfaces sphériques, et qu'on emploie en optique pour changer les positions relatives des rayons lumineux. Il sera facile, d'après ce que nous venons de dire, de rendre raison de leurs effets. On en distingue six espèces qu'on peut partager en deux divisions : les unes tendent à rendre les rayons convergens, et les autres à les rendre divergens. Les premières sont représentées *fig.* 58, 59 et 60; et les dernières, *fig.* 61, 62 et 63.

1° La lentille *bi-convexe fig.* 58 tend à rendre les rayons convergens, car les rayons qui la traversent passent d'abord d'un milieu moins dense (l'air) dans un milieu plus dense par une surface convexe, puis d'un milieu plus dense dans un moins dense par une surface concave, et nous avons vu *pag.* 101 que dans ces deux cas les rayons se rapprochaient de la convergence.

2° Il en est de même de la lentille *plane-convexe fig.* 59; c'est ce qui résulte encore des propriétés de ses surfaces (*voy.*

pag. 84 et 101), soit que les rayons entrent par la face plane ou par la face convexe.

3° La lentille *convexe-concave* de la *fig.* 60, dans laquelle la face convexe est plus courbe que la face concave, est encore dans le même cas, quoique les effets produits par ses deux surfaces soient contraires, parce que l'effet dû à la face *a b c* est moindre que celui de la face *a b' c*, qui est de rapprocher les rayons de la convergence, soit qu'ils entrent, soit qu'ils sortent par cette face.

On peut évidemment résumer tout ce que nous venons d'établir relativement aux trois premières espèces de lentilles, en disant que les lentilles qui sont *plus épaisses vers le milieu que vers les bords* sont *convergentes*.

4° La lentille *bi-concave fig.* 61, la lentille *plane-concave fig.* 62, et la lentille *concave-convexe fig.* 63, dans laquelle la face concave est plus courbe que la face convexe, ou, ce qui revient au même, les lentilles qui sont *plus épaisses vers les bords que vers le milieu*, tendent à rendre les rayons *divergens*; cela résulte de l'analyse des effets de leurs faces sur les rayons lumineux, effets qui ont été étudiés *pag.* 101 et 102.

On parvient par des calculs qui ne peuvent pas trouver place ici, à des résultats plus complets; on détermine les relations qui existent 1° entre les distances du centre optique (1), au point de départ des rayons lorsqu'ils viennent en divergeant d'un point lumineux, au point où ces rayons se réunissent après avoir été réfractés, c'est-à-dire au foyer, et enfin au foyer des rayons parallèles, ou foyer *principal*; 2° entre la distance F du centre optique au foyer principal, les rayons R et R′ des faces de la lentille et l'indice N de réfraction de sa substance. La première de ces relations est :

(1) Le *centre optique* d'une lentille est un point pris dans son intérieur sur son axe, c'est-à-dire, sur la ligne qui passe par les milieux de ses deux faces et qui jouit de cette propriété, que tous les rayons qui y passent prennent en sortant de la lentille une direction parallèle à celle qu'ils avaient avant leur entrée. Dans les lentilles dont les deux faces sont égales, le centre optique est le milieu de la lentille.

$$\frac{1}{F'} = \frac{1}{F} - \frac{1}{L} \quad (1)$$

L désignant la première des distances dont il a été question,
F' la seconde,
et F la troisième,

L'autre est :

$$F = \frac{R\,R'}{(N-1)(R'-R)}$$

Par leur moyen on peut résoudre un grand nombre de questions fort importantes; par exemple, lorsqu'on connaîtra les rayons des faces d'une lentille et l'indice de réfraction de sa substance, la dernière équation donnera la valeur de F qu'on pourra porter dans la première, qui fera alors connaître le lieu du foyer des rayons lumineux partant d'un point ayant une position connue, ou, ce qui est la même chose, le lieu de son image; car les rayons, après s'être croisés au foyer, redeviennent divergens, et si un œil les reçoit, il juge le point lumineux à l'endroit où ils se coupent (*voy.* pag. 15 et 16).

Ces formules ne s'appliquent qu'aux lentilles convergentes : elles deviennent propres aux lentilles divergentes en leur faisant subir de légères modifications; elles sont alors :

$$\frac{1}{F'} = \frac{1}{F} + \frac{1}{L},$$

$$F = \frac{R\,R'}{(N-1)(R'+R)}.$$

Dans ce cas, les rayons réfractés ne se coupent plus, et il n'y a plus de foyer, à proprement parler; mais si on les conçoit prolongés, le lieu où ils se réuniront sera encore le lieu de l'image : on l'appelle foyer *virtuel* ou foyer *imagi-*

(1) La même relation existe pour les miroirs sphériques concaves entre les mêmes choses.

naire. F′ représente alors la distance du centre optique au foyer imaginaire.

Il est facile, en discutant ces formules, de reconnaître, comme nous l'avons fait dans la catoptrique pour les miroirs sphériques, les positions relatives les plus remarquables des points lumineux et de leurs images : nous laisserons ce soin à nos lecteurs. Nous ferons seulement remarquer que pour les lentilles de verre bi-convexes dans lesquelles les deux faces ont la même courbure, R étant égal à — R′ et N à $\frac{3}{2}$ environ, il en résulte que le foyer principal est à peu près au centre de la sphère dont fait partie la surface qui reçoit les rayons parallèles, car la seconde formule relative aux lentilles convergentes donne F = — R′, quand on met ces quantités à la place des lettres qui en tenaient la place.

« Certains artistes qui ont besoin (1) d'une forte lumière et qui travaillent long-temps de suite sur de petites pièces, tels que sont les graveurs et ciseleurs en bijouterie, les metteurs en œuvre, les horlogers, etc., s'éclairent assez communément le soir avec une lampe dont ils font passer la lumière au travers d'une bouteille de verre mince et ronde, qu'on nomme *bocal*, et qu'ils emplissent d'eau bien claire, *fig.* 64. La flamme d'une chandelle ou d'une lampe étant placée près de ce vaisseau, jette sur une grande partie de sa surface sphérique des rayons divergens qui le deviennent beaucoup moins, comme il a été démontré *pag.* 101, en passant à travers cette surface ; et par la même cause, cette lumière perd ensuite le reste de sa divergence, en passant de l'eau dans l'air, parce que de part et d'autre elle se réfracte en s'éloignant des lignes *pc*, *pc*, ce qui resserre les rayons dans un plus petit espace, jusqu'à les rendre parallèles ou convergens.

Les corps solides qui sont plongés dans des vaisseaux de verre remplis d'eau ou de quelque autre liqueur transparente, nous paraissent pour l'ordinaire sous des figures difformes,

(1) Abbé Nollet, Leçons de Physique expérimentale.

faire converger les rayons dans le plus petit espace possible. On sait bien celles qui devraient être préférées pour cet effet, mais on a trouvé trop de difficulté à travailler le verre sous la forme qu'il faudrait lui donner, et on s'en est tenu jusqu'à présent aux premières.

« On a vu pag. 62 qu'il est possible de rassembler dans un petit espace une grande quantité de jets de lumière, par des miroirs plans arrangés dans un chassis et inclinés de manière qu'ils réfléchissent tous les rayons vers le même lieu. On aura, si l'on veut, un effet à peu près semblable par réfraction, car puisqu'un rayon solaire, en traversant un morceau de verre dont les deux surfaces sont planes et inclinées l'une à l'autre, se plie nécessairement vers le bord le plus épais, en opposant de pareils verres les uns aux autres dans un même bâti, on ménagerait l'inclinaison des rayons réfractés, de manière qu'ils tomberaient sur un même endroit à quelque distance de la machine : on en voit un exemple en petit dans les verres à facettes dont j'ai fait mention ci-dessus. Car en les exposant au soleil on peut remarquer que tous les jets de lumière qui passent par les petites faces inclinées à la grande vont se réunir et se croiser dans un foyer commun. Si toutes ces parties du verre étaient plus grandes, séparées les unes des autres et arrangées dans un cadre comme elles le sont dans le même morceau, par la façon dont il est taillé, il n'est pas douteux que pareil effet n'arrivât.

« Quand on veut accourcir et rétrécir le foyer d'un grand verre convexe, on fait passer la pyramide de lumière qui en sort par l'épaisseur d'une autre lentille plus convexe. Et alors, conformément à ce qui a été dit pag. 102, les rayons qui tombent sur ce dernier verre avec un dégré de convergence qui les fait tendre au-delà du centre de sa sphéricité, ne manquent pas de s'incliner davantage à l'axe, tant en entrant qu'en sortant ; ce qui les réunit plus tôt et dans un plus petit espace.

« L'effet le plus remarquable des lentilles convergentes ou des loupes de verre, celui dont on fait le plus d'usage,

c'est de nous faire voir les objets plus grands qu'ils ne nous le paraissent à la vue simple. Cela vient de ce que les rayons qui partent des parties opposées A *a*, *b b*, *c c*, *fig.* 68, convergens comme A *d*, *a e*, parallèles comme *b d*, *b e*, ou divergens comme *c d*, *c e*, après avoir souffert les deux réfractions, se réunissent de l'autre côté du verre, les uns plus près, les autres plus loin, mais toujours en formant des angles plus grands que n'en formeraient aux mêmes distances les rayons qui viendraient en droite ligne des mêmes endroits de l'objet : car, par exemple, à la vue simple, l'œil placé en *h* verrait l'objet sous l'angle A *h a*; par le moyen du verre, il l'aperçoit sous l'angle *d h e*, qui est plus ouvert.

« Ce serait encore la même chose si l'on supposait l'œil placé en *f* et en *g*; mais comme le premier de ces deux points est celui où se réunissent les rayons parallèles, et qu'il n'en peut venir de tels des espaces compris entre *a b* et A *b*, l'objet ne peut y être vu tout entier s'il est de la grandeur qu'on le suppose ici, par rapport au diamètre de la lentille; et l'on en verra encore moins du point *g*, où il ne peut arriver que des rayons qui auraient été divergens dans leur incidence, comme *c d*, *c e*.

» Si l'objet est au-delà du point F, *fig.* 69, qui est un peu moins éloigné que le foyer des rayons parallèles, vous ne le voyez plus que confusément, parce que les faisceaux de rayons tels que *l m*, qui procèdent de chaque point de sa surface, étant moins divergens, deviennent, après les deux réfractions, ou parallèles ou convergens; et j'ai déjà dit plusieurs fois que, quand ils entrent ainsi dans un œil bien constitué, la vision n'est pas distincte : il faut qu'en sortant du verre ils aient encore un peu de divergence, et par conséquent un point de concours, comme *n o*, *p q*.

» Ce n'est pas qu'on ne puisse voir distinctement l'image d'un objet quand le verre a rendu ces faisceaux de rayons convergens entr'eux, mais alors cette image est entre le verre et l'œil, et elle est renversée. Cela arrive, lorsque par la distance de l'objet au verre et du verre à l'œil, les faisceaux

qui doivent se réunir en quelque endroit après les réfractions, se croisent avant que d'entrer dans la lentille, comme on le voit en C, *fig.* 70, et que les rayons qui composent chacun d'eux étant devenus convergens, se croisent aussi à une certaine distance avant que de rencontrer l'œil, comme en *a* et en *b*. A ces derniers points de réunion ou de croisement, il se forme une image de l'objet que l'on peut recevoir sur un carton blanc, ou voir immédiatement en plaçant l'œil en D, c'est-à-dire à telle distance où les rayons de chaque faisceau aient repris un dégré de divergence à peu près semblable à celui qu'ils auraient, si l'on apercevait l'objet à la vue simple. L'image *ab* est renversée parce qu'elle est formée par des faisceaux qui se sont croisés en C, ce qui fait que la partie A, la plus élevée de l'objet, est représentée en bas.

» Quand l'image est du côté de l'objet, elle est plus loin que lui, car chaque point de sa surface étant vu par des rayons qui deviennent moins divergens, comme *no*, *pq*, *fig.* 69, leur point de concours *f* où nous le rapportons est plus éloigné que celui d'où ces rayons sont partis. Mais comme ces sortes de verres amplifient les images en même temps qu'ils les éloignent, nous avons peine à sentir ce dernier effet; parce que nous sommes naturellement portés à croire qu'un objet connu est plus près de nous quand nous le voyons plus grand. Pour vaincre ce préjugé, il faut regarder un corps qui soit long et menu, de manière qu'on en voie une partie à travers la lentille, et l'autre à la vue simple: on reconnaîtra que la dernière est plus près de l'œil que l'image de la première.

» Les verres convexes font entrer dans l'œil des rayons qui n'y entreraient pas si l'on voyait l'objet sans eux: c'est une conséquence nécessaire de ce qu'ils rendent la lumière moins divergente. Les rayons réfractés étant plus resserrés entre eux, la prunelle doit en embrasser qui lui auraient échappé. A cet égard, on a raison de dire que les loupes ou lentilles de verre nous font voir avec plus de clarté, mais

il faut considérer qu'une partie de la lumière se perd alors pendant son trajet; de sorte que, tout compté, il y a bien des cas où l'on trouverait à peine ces pertes compensées par la quantité de lumière que la réfraction amène à l'œil.

» Ce que l'on regarde à travers une lentille paraît souvent sous une figure difforme, parce que les effets de la réfraction ne sont pas égaux pour tous les faisceaux de lumière qui viennent des différentes parties de l'objet à l'œil. C'est ce qui arrive principalement quand cet objet est grand et que le verre est petit; car alors il est très-rare que tous les points de la surface réfringente se trouvent également éloignés de ceux d'où procèdent les rayons, ce qui fait que l'œil rapporte ceux-ci à des distances qui n'ont point entr'elles la même proportion qu'elles ont dans l'objet, parce que la divergence des rayons qui lui en tracent les images, est diminuée pour les uns plus que pour les autres. La même cause qui altère la figure peut faire aussi que certaines parties se voient très-confusément, tandis que d'autres se représentent d'une manière très-distincte : c'est surtout aux extrémités de l'image qne cela s'aperçoit, quand les verres sont d'un foyer court. En pareil cas, on doit encore considérer que les réfractions qui se font vers les bords de la lentille ne concourent pas régulièrement avec celles du milieu ou qui avoisinent l'axe, comme je l'ai remarqué ci-dessus.

» Les lentilles divergentes ont trois effets remarquables : elles font voir les objets plus petits qu'ils ne sont, plus près qu'on ne les verrait à la vue simple, et avec moins de clarté. Pour déduire plus facilement de nos principes les explications de ces apparences, nous supposerons des verres d'une concavité sphérique, comme ils le sont presque toujours; et cette concavité égale de part et d'autre, comme on le voit par la fig. 71, qui représente la coupe d'un de ces verres, selon l'axe de sa sphéricité.

» Toute cause qui diminue la convergence des rayons de lumière qui viennent des extrémités d'un objet à l'œil, diminue nécessairement la grandeur apparente de cet objet;

puisqu'alors il est aperçu sous un plus petit angle : voilà précisément ce que fait un verre concave; car suivant ce qu'on a vu *pag.* 103, les rayons A *d*, B *e*, qui concourent naturellement en D, deviennent moins convergens dans l'épaisseur du verre qu'ils ne l'étaient avant d'y entrer. S'il arrive alors que les rayons réfractés convergent précisément au point F, qui est le centre de l'autre concavité G J H, ils sortent du verre sans souffrir une seconde réfraction; mais la grandeur apparente de l'objet est toujours diminuée : il est aperçu sous l'angle *a* F *b*, au lieu que, sans l'interposition du verre, il l'eût été sous l'angle A F B, qui est plus grand.

» Dans le cas où les rayons réfractés *df*, *eg*, tendraient à se joindre plus loin que le point F, l'angle visuel deviendrait encore plus petit; car, en sortant du verre pour rentrer dans l'air, ces rayons souffriraient une autre réfraction qui, en les écartant des perpendiculaires *p p*, *q q*, les rendrait encore moins convergens qu'ils ne l'étaient avant leur sortie.

» Enfin, il peut arriver que la première réfraction laisse encore aux rayons *df*, *eg*, un dégré de convergence qui tende à les réunir plus près du verre que le point F : ce qui occasionnerait une seconde réfraction en sens contraire de la première; mais comme l'incidence des rayons *df*, *eg* ne peut jamais être aussi oblique sur la surface de l'air G I F, que celle des rayons A *d*, B *e* le doit être sur la surface du verre C K E pour faire naître la circonstance dont il s'agit, la seconde réfraction se trouve indispensablement plus faible que la première, et incapable, par conséquent, de la compenser.

» Les verres concaves diminuent aussi la distance apparente, parce qu'en traversant leur épaisseur, les rayons divergens qui appartiennent à chaque point visible de l'objet, s'écartent davantage les uns des autres, comme on l'a vu pag. 103 : de cet effet il résulte que le point lumineux A, *fig.* 72, est apporté en *a*.

» Il est vrai qu'il peut arriver que les rayons qui procèdent d'un même point placé à certaines distances d'une surface réfringente, comme l'eau, le verre, etc., conservent leur dégré

de divergence dans le milieu dense, ou qu'ils en perdent même plutôt que d'en acquérir; mais ces cas n'ont jamais lieu, quand la lumière traverse toute l'épaisseur d'un verre dont les deux surfaces sont concaves, pour continuer de se mouvoir dans l'air. Car si le point radieux est placé au centre d'une des deux concavités C E, *fig.* 73, et que par cette raison les rayons A *b*, A *c* passent directement jusqu'à l'autre surface G H, alors leur incidence sur l'air est oblique, et la réfraction qu'ils souffrent indispensablement les écarte des perpendiculaires F *p*, F *q*; ce qui les fait regarder comme s'ils venaient du point *a*, qui est plus près que celui d'où ils sont émanés.

» S'ils viennent de plus près que le point A, et qu'ils perdent en entrant dans le verre une partie de leur divergence, l'incidence sur la dernière surface est tellement oblique, que la seconde réfraction leur en rend plus que la première ne leur en fait perdre, comme on le peut voir par la *fig.* 74, en considérant que les rayons émergens *d e*, *f g* semblent venir du point K, qui est plus près du verre que celui d'où ils sont partis.

» Quand le verre est concave d'un côté et plan de l'autre, il produit encore les mêmes effets par rapport à la vision, à la différence près du plus au moins; car si les rayons convergens le sont encore après la première réfraction, comme *d e*, *fig.* 75, en passant obliquement par la surface plane G H, ils se réfractent une seconde fois en sens contraire de la première, mais plus faiblement, parce que l'incidence en *e* n'est pas si oblique que celle du rayon *b d* sur la surface concave C E; et par conséquent le rayon émergent *e f* demeure toujours moins convergent à l'axe A F, qu'il ne l'était avant de rencontrer le verre.

» A l'égard des rayons divergens, quand ils partiraient du centre de la concavité, et qu'ils iraient en droite ligne jusqu'à la surface plane, comme A *c*, alors ils ne pourraient manquer de se réfracter, à cause de leur incidence oblique sur G H, et cette réfraction, comme on le peut voir par la

fig. 75, et comme on l'a déjà vu pag. 85, augmenterait leur divergence.

» Enfin ce sont les mêmes effets, soit qu'on présente à la lumière la surface plane du verre ou sa surface concave. Si le rayon vient du point F, il se réfracte deux fois, savoir en *h* et en *g*, et s'écarte de l'axe A F de la quantité A *l*. S'il part du point A, il ne se réfracte qu'une fois en *c*, mais assez fortement pour aller en *i* : cette seule réfraction équivaut aux deux autres; et cette compensation se trouve encore dans les autres cas, soit qu'il y ait deux réfractions contre une, soit qu'il y en ait deux de part et d'autre.

» Quant au dégré de clarté, il est évident que les verres concaves doivent la diminuer un peu; puisqu'ils augmentent la divergence de la lumière, ils empêchent qu'il n'en entre dans la prunelle autant qu'elle en pourrait recevoir de chaque point visible, sans leur interposition. »

Du Mirage. « Les marins (1) ont observé depuis long-temps que, dans certaines circonstances, les vaisseaux à la voile situés dans le lointain, offrent, outre l'image ordinaire qui est droite, une seconde image dont la position est renversée. Ils ont donné à ce phénomène le nom de *mirage*, que l'on a appliqué, par extension, à un autre phénomène qui a lieu à la surface de la terre, et embrasse un champ beaucoup plus étendu.

» Il appartenait au célèbre Monge, qui avait souvent été témoin de ce dernier phénomène pendant son séjour en Egypte, d'en dévoiler la véritable cause, en nous la montrant dans la réflexion des rayons lumineux sur la surface invisible d'une couche d'air située près de la terre. A l'aide de cette cause, tout ce que le phénomène semblait avoir d'extraordinaire vient se ranger parmi les effets connus des lois de la lumière. Nous avons puisé tout ce que nous allons dire sur ce sujet dans l'excellent mémoire où il l'a décrit,

(1) Abbé Haüy, traité élémentaire de physique.

et en a donné une explication aussi simple que satisfaisante. Nous reviendrons ensuite au premier phénomène, qui est produit par une action différente de la même cause.

» M. Monge remarque d'abord que la production du phénomène dont il s'agit exige que l'on soit dans une grande plaine à peu près de niveau; que cette plaine se prolonge jusqu'aux limites de l'horizon, et que, par son exposition au soleil, elle soit susceptible d'acquérir un haut dégré de chaleur. Ces diverses circonstances se trouvent réunies dans le terrain de la basse Egypte.

» Voici maintenant à quels traits on reconnaît le phénomène. L'espace dans lequel il se montre, et qui auparavant offrait de toutes parts aux yeux un sol aride, jusqu'à une certaine distance, paraît terminé à environ une lieue, par une inondation générale. Les villages qu'elle environne ressemblent à des îles placées au milieu d'un grand lac. On voit sous chacun d'eux son image renversée, telle qu'on la verrait sur une surface d'eau réfléchissante, située en avant. Seulement, comme cette image est éloignée, les petits détails échappent à la vue, et l'on ne voit distinctement que les masses : de plus, les bords de l'image renversée sont un peu incertains, et tels qu'ils s'offriraient à la vue, si l'eau supposée éprouvait une légère agitation.

» A mesure qu'on approche d'un village placé dans l'inondation, le bord de l'eau apparente s'éloigne, le lac se rétrécit; il finit par disparaître, et le phénomène qui cesse pour ce village se reproduit pour un autre village que l'on découvre au-delà.

» Les voyageurs qui, après un long et pénible trajet dans un terrain desséché, aperçoivent le phénomène, et s'imaginent toucher au moment d'étancher la soif qui les dévore, sont bientôt détrompés, lorsqu'à mesure qu'ils se hâtent d'arriver à l'objet de leurs espérances, ils le voient fuir devant eux, et reconnaissent qu'ils poursuivent un fantôme.

» Pour en venir maintenant à la théorie du phénomène, rappelons-nous que quand la lumière passe d'un milieu dans

un autre qui est plus rare, sous un angle d'incidence qui va toujours en diminuant, il y a un terme où l'angle de réfraction étant droit, la direction du rayon réfracté coïncide avec la surface de contact des deux milieux, en sorte qu'au-delà de ce terme, le même rayon se relève au-dessus de cette surface, en faisant avec elle un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. Tel est le principe d'où part M. Monge, et dont il déduit l'explication suivante.

» Vers le milieu du jour, et pendant la grande ardeur du soleil, les rayons de cet astre, en tombant sur la surface du sol, qui bientôt sera le théâtre du phénomène, l'échauffent au point que la couche d'air en contact avec elle parvient à une température très-élevée : cette couche se dilate, sa densité devient sensiblement plus petite que celle de la couche qui repose sur elle. Les rayons qui arrivent des parties basses du ciel, et qui, après avoir pénétré la couche dense, forment avec la surface supérieure de la couche dilatée des angles assez petits pour qu'au lieu de passer dans cette couche, ils soient réfléchis par la même surface, conformément au principe énoncé plus haut, vont porter à un œil placé dans la couche dense l'image renversée des parties du ciel dont nous avons parlé, et que l'on voit alors au-dessous du véritable horizon.

» Dans ce cas, si rien n'avertit l'observateur de son erreur, comme l'image des parties inférieures de la voûte du ciel, vue par réflexion, est à peu près du même éclat que celle qui est vue directement, elle semble être un prolongement de celle-ci, qui se présente sous la figure d'un arc dont la concavité est tournée vers le spectateur, en sorte qu'il juge les limites de l'horizon et plus basses et plus voisines de lui qu'elles ne le sont en effet. Mais si quelques objets terrestres, tels que des arbres, des villages et des monticules, lui fournissent des alignemens pour voir les choses sous leur véritable aspect ; comme la surface de l'eau, lorsque le rayon visuel fait un petit angle avec elle, n'est ordinairement apparente qu'à la faveur de l'image du ciel qu'elle réfléchit, la

surface de l'air qui offre une reproduction de la même image se transforme aux yeux du spectateur en celle d'une eau réfléchissante.

» Les villages et les arbres situés à une distance convenable du phénomène, en interceptant une partie des rayons qui viennent des régions basses du ciel, occasionnent dans son image des vides qui sont aussitôt remplis par des images renversées que font naître des mêmes objets les rayons qu'ils envoient vers la surface de l'air.

» C'est lorsque la densité et l'épaisseur de la couche dilatée de ce fluide sont constantes, et que la température de la couche supérieure se maintient au même dégré, que le phénomène devient susceptible d'offrir ce qu'il y a dans sa manière d'être de plus propre à exciter la surprise du spectateur, qui est d'avoir l'air de fuir à son approche. Pour bien concevoir ce qui fait varier ainsi sa position apparente, soit *mn* fig. 76 une ligne prise sur la surface réfléchissante, *bg* une partie du ciel située dans le même plan vertical, *ocn* le plus grand angle sous lequel les rayons puissent être réfléchis par la surface dont il s'agit, et *acm* l'angle d'incidence correspondant; l'œil du spectateur, que nous supposons placé en *o*, verra l'image du point *a* sur la direction prolongée du rayon *rc*, et cette image coïncidera avec l'un des points où commence le phénomène, relativement à la position actuelle du spectateur. Toutes les autres images, par exemple celle du point *z*, étant produites par des rayons dont l'angle d'incidence *zym* et l'angle de réflexion *ryn* sont plus petits que les précédens, appartiendront à des parties de l'inondation, situées au-delà du bord où elle prend naissance.

» Supposons maintenant que l'observateur fasse un mouvement en avant, de manière que son œil se trouve transporté en *o'*; l'angle qui répond au *maximum* d'inclinaison de la lumière réfléchie étant déterminé et constant, l'œil verra sur la direction *lp* parallèle à *rc*, l'image d'un autre point *s* tellement situé, que l'angle d'incidence *spm*, et par suite l'angle de réflexion *lpr*, seront égaux aux premiers. Or,

cette image coïncide, comme la précédente, avec un des points où commence maintenant le phénomène pour l'observateur : donc, le mouvement que l'œil de celui-ci a fait de o en o', a produit dans le point dont il s'agit un mouvement égal mesuré par as, suivant la même direction. On pourra appliquer le même raisonnement à toutes les positions ultérieures que prendra successivement le spectateur, d'où l'on conclura qu'il doit voir le bord de l'inondation situé de son côté, reculer sans cesse avec une vîtesse égale à la sienne, et ne plus laisser apercevoir qu'un sol desséché aux endroits qu'elle semblait baigner. Si, de plus, le spectateur s'avance vers un village situé dans le même espace, le bord de l'inondation doit lui paraître d'abord se rapprocher de ce village, ensuite l'atteindre et bientôt après se transporter au-delà.

» Il est facile de déduire de l'explication précédente celle du mirage en mer, dont la cause est seulement un peu différente, et agit absolument de la même manière. Nous commencerons par observer que comme l'eau de la mer permet aux rayons lumineux de pénétrer dans son intérieur jusqu'à une certaine profondeur, sa surface, en restant exposée au soleil, ne s'échauffe pas à beaucoup près autant que le ferait un sol aride dans la même circonstance; et ainsi elle ne peut communiquer à la couche d'air qui repose sur elle qu'une température peu élevée, mais l'évaporation y supplée.

» La quantité de chaleur renfermée dans l'eau elle-même, quoique peu considérable, suffit pour convertir les molécules aqueuses en contact avec la couche d'air dont il s'agit, en une vapeur qui s'y introduit et en diminue la pesanteur spécifique. La surface de cette même couche devient alors susceptible de réfléchir les rayons lumineux sous l'angle d'où dépend la production du mirage : aussi toute la différence entre ce dernier phénomène et le mirage qu'on observe à la terre, consiste en ce que, dans celui-ci, la diminution de pesanteur spécifique que subit l'air est produite par la chaleur, tandis que dans l'autre elle est due au mélange de la vapeur avec ce fluide. »

Sur la vision et sur les instrumens d'optique.

« La vision (1) des objets est l'idée que nous concevons d'eux, en conséquence des impressions qu'ils font sur nous par le moyen de la lumière. Une certaine partie du corps animé, qu'on nomme l'*œil*, est l'organe particulièrement destiné à recevoir ces impressions ; tant qu'il est sain et dans son état naturel, l'usage que nous en faisons peut suffire à nos besoins ordinaires ; s'il est malade, ou que notre curiosité exige de lui ce qu'il ne peut faire, l'art vient à son secours, et lui offre des instrumens par le moyen desquels il atteint à des objets que la nature semblait avoir mis hors de sa portée.

» Ce court exposé annonce deux sortes de vision, savoir : 1° celle qui se fait par le moyen des yeux seuls, et que j'appelerai *vision naturelle ;* 2° celle qui est aidée ou augmentée par les instrumens d'optique, tels que sont les lunettes, les microscopes, etc., et qu'on peut nommer *vision artificielle*.

» *De la vision naturelle*. En parlant de la transmission de la lumière, j'ai représenté les rayons qui viennent à nous de tous les points de l'objet, comme autant de pinceaux ou de pyramides lumineuses qui ont pour base commune cette partie circulaire de l'œil qu'on nomme la *prunelle*. Je me suis contenté de les suivre jusqu'à cette ouverture ; ou, si j'ai parlé de leur prolongement au-delà, je n'ai eu égard qu'à leurs axes considérés comme de simples lignes. Si ces pyramides portaient leurs bases jusqu'au fond de l'œil, elles y feraient de larges et faibles impressions, qui ne manqueraient pas de se confondre les unes avec les autres : différens points de l'objet visible se feraient sentir ensemble sur une même

(1) Abbé Nollet, Leçons de Physique expérimentale.

partie de l'organe, la vision serait par là très-confuse. L'Auteur de la nature a pris des précautions très-sages pour empêcher ce mauvais effet : chacune des pyramides dont il s'agit n'est pas plus tôt arrivée à l'œil, qu'elle s'y convertit en une autre pyramide opposée par sa base à la première, et dont la pointe va toucher le fond de l'œil : par ce moyen la vision devient claire, pour deux raisons; premièrement, parce que chaque impression est plus forte, étant produite par tous les rayons de la pyramide réunis sur un très-petit espace; secondement, parce que toutes les impressions se font sur différentes parties de l'organe, ce qui fait sentir séparément tous les points de l'objet.

» Mais comment la lumière qui entre dans la prunelle reçoit-elle cette nouvelle modification qui la rend convergente, de divergente qu'elle était ? C'est ce merveilleux mécanisme que je dois expliquer maintenant. Avant de l'entreprendre, il est nécessaire que je fasse connaître les différentes parties de l'œil, puisque c'est de leurs fonctions que dépendent les effets dont j'ai à parler.

» L'homme, et la plupart des animaux (1), ont deux yeux placés à la partie antérieure de la tête : chacun de ces organes est une espèce de globe renfermé en partie dans une cavité osseuse qu'on nomme *orbite*, où il se meut en toute sorte de sens par le moyen de six muscles.

» Ce globe est composé extérieurement de plusieurs membranes posées les unes sur les autres, qui tirent leur origine d'un nerf qui vient du cerveau, et qui porte le nom de *nerf optique* : le dedans est rempli par trois humeurs de différentes consistances, dont je parlerai ci-après.

» Le nerf optique, ainsi que les autres, a trois parties principales, savoir : la *dure-mère* qui l'enveloppe extérieure-

(1) Je n'ai aucun égard ici aux différences qui se trouvent dans les yeux des animaux, quant à la conformation, à la position, ni au nombre; je n'ai en vue que les yeux des animaux les plus grands et les plus connus, et principalement ceux de l'homme.

ment, la *pie-mère*, qui est comme une seconde enveloppe au-dessous, et la moëlle qui est une substance plus molle; ces trois parties se dilatent pour former le globe de l'œil, et portent différens noms.

» La première, qui est une expansion de la dure-mère, se nomme *sclérotique*; sa partie antérieure est transparente comme la corne dont on garnit les lanternes, et saille un peu comme une portion de sphère plus petite que celle de l'œil, on l'appelle aussi *cornée*; et alors, pour distinguer ses deux parties, on nomme la dernière *cornée transparente*, et l'autre *cornée opaque*.

» La pie-mère, en s'épanouissant sous la sclérotique, forme la seconde enveloppe qui porte le nom de *choroïde*, et qui se divise en deux lames, dont l'une parfaitement contiguë à la sclérotique, se confond avec elle près de la cornée transparente.

» La seconde lame de la pie-mère, dit M. Le Cat dans son Traité des Sens, pag. 373, « fait proprement ce qu'on » appelle la *choroïde* ou l'*uvée*; mais cette lame n'est qu'un » tissu des vaisseaux nerveux et liquoreux qui sortent de » la surface interne de la première lame. Ces vaisseaux por- » tent une encre qui donne la couleur noire ou brune à » cette seconde lame. Une partie de ces vaisseaux et de ces » nerfs s'ouvre à la face interne de cette lame, et y forme » un tissu velouté ou mamillaire, chargé de l'encre dont » je viens de parler. Ruisch a fait une tunique particulière » de ce velouté, et on la nomme la seconde tunique de la » choroïde : ce serait, selon nous, la troisième que la pie- » mère donnerait à l'œil, savoir, une vraiment membra- » neuse unie à la sclérotique ou cornée opaque, une vascu- » laire appelée *choroïde*, et une veloutée appelée *tunique de* » *Ruisch* ».

» Vers le bord de la cornée transparente, la choroïde se dédouble; sa partie antérieure forme l'*iris*, et sa partie postérieure est ce qu'on nomme la *couronne ciliaire*.

» L'iris est ce cercle coloré qu'on aperçoit sous la cornée

transparente, et au milieu duquel il y a un trou rond qu'on nomme la *prunelle* ou la *pupille*. Cette partie, dont la couleur change suivant les différens individus, a des fibres musculaires dont les unes forment des cercles concentriques et les autres sont comme des rayons qui tendent au centre de la prunelle. Les yeux bleus, sur-tout chez les enfans, ont quelquefois ces dernières fibres si apparentes, que le vulgaire croit y voir des cadrans, et les regarde comme une merveille.

» La couronne ciliaire embrasse et tient suspendu vis-à-vis la prunelle un corps transparent d'une figure lenticulaire, plus convexe vers le fond de l'œil que par devant, et que l'on nomme le *cristallin*.

» La partie médullaire du nerf optique s'épanouit aussi, et produit sous la choroïde une troisième membrane très-fine, baveuse, qui tapisse tout l'intérieur de l'œil, en se terminant à la couronne ciliaire; c'est ce qu'on appelle la *réline*.

» Toutes les parties que je viens de décrire partagent l'intérieur du globe de l'œil en trois *chambres*: la première est comprise entre la cornée transparente et l'iris; la seconde entre l'iris et le cristallin, qui forme avec la couronne ciliaire une espèce de cloison. Ces deux premières chambres communiquent ensemble par la prunelle, et renferment une liqueur claire comme de l'eau, qu'on nomme pour cela l'*humeur aqueuse*. La troisième chambre, beaucoup plus grande que la précédente, est comprise entre le cristallin et le fond de l'œil; elle contient une substance très-limpide, qui est d'une consistance assez semblable à celle de la gelée de viande : on l'appelle l'*humeur vitrée*.

» On doit donc concevoir que le cristallin enchassé dans la couronne ciliaire se trouve suspendu vis-à-vis de la prunelle entre l'humeur aqueuse et l'humeur vitrée, et que toutes ces petites fibres, qui tiennent ainsi à sa circonférence, sont des productions de la choroïde, laquelle appartient elle-même à la pie-mère, seconde enveloppe du nerf optique.

» Le globe dont je viens de faire la description se meut, comme je l'ai déjà dit, dans l'orbite; et, pour se conserver, il a par devant deux espèces de rideaux qu'on nomme *paupières*, que l'animal peut ouvrir et fermer à son gré, et qui sont bordés d'une frange de poil, pour en écarter les petits corps étrangers ou les insectes qui voltigent dans l'air, et qui pourraient nuire à cet organe si précieux et si délicat.

» Ce que je viens d'exposer ici touchant les parties de l'œil me suffit pour faire entendre ce que j'ai à dire sur le mécanisme de la vision. Si l'on en veut savoir davantage, on peut consulter les auteurs anatomistes qui ont traité cette matière dans toute son étendue; il y en a un grand nombre : mais sur les organes des sens, l'ouvrage de M. Le Cat, que j'ai cité ci-dessus, me paraît un des meilleurs par sa netteté et son exactitude.

» La nature et la construction de l'œil étant connues, voici en gros comment on peut concevoir que les objets extérieurs font impression sur cet organe, et de quelle manière leurs différentes parties se font sentir, quand elles sont à une distance convenable et suffisamment illuminées.

» Le cristallin étant par sa figure et par sa transparence tout à fait semblable à une lentille de verre, et se trouvant placé entre des milieux d'une densité moindre que la sienne, doit avoir des effets semblables à ceux d'un verre lenticulaire placé dans l'air ou dans l'eau : or, la dioptrique nous apprend qu'un tel verre, dans ces circonstances, rassemble dans un foyer les rayons parallèles ou peu divergens qu'il reçoit; d'où je conclus qu'une pyramide de lumière qui, partant d'un point lumineux A, *fig.* 77, placé à une certaine distance, viendrait tomber sur le cristallin C, pourrait, après s'y être réfractée, tant en entrant qu'en sortant, se rassembler en *a* au fond de l'œil, et faire dans ce petit endroit toute l'impression qui se serait distribuée sur un bien plus grand espace, si les rayons qui composent cette pyramide n'avaient pas été réfractés par le cristallin.

» Je conçois encore que si deux pyramides semblables à

la précédente viennent des extrémités et du milieu d'un même objet appuyer leurs bases sur la surface du cristallin, comme AC, BC, DC, *fig.* 78, non seulement chacune d'elles se rassemblera dans un point *a*, *b* ou *d*, mais que ces points de réunion seront séparés et distincts l'un de l'autre, et qu'ils se rangeront au fond de l'œil dans un ordre opposé à celui des parties de l'objet d'où viennent les rayons. Ce qui m'apprend, 1° pourquoi les impressions faites sur l'organe par la lumière qui procède des différens points de l'objet visible, ne se confondent pas les unes avec les autres; 2° comment l'image de l'objet, qui résulte de ces impressions, se trouve renversée dans l'œil.

» Voilà ce que nous devons penser des fonctions de l'œil, en raisonnant suivant les principes qui ont été établis précédemment. Ces principes sont si certains, que quand nous nous n'aurions pas d'autres garans, on pourrait compter en toute sureté sur ce que je viens d'exposer; mais joignons l'expérience à la théorie, et faisons voir, par une imitation de l'œil, que les effets de la lumière y sont tels que je les ai conçus.

» L'instrument représenté par la *fig.* 79 est une boîte de bois ronde et grosse à peu près comme celles dans lesquelles on renferme les savonnettes; elle est portée sur un pied pour être maniée et posée plus commodément.

» Cette boîte est percée de deux trous ronds diamétralement opposés, dont l'un qui a un pouce et demi de diamètre est recouvert avec un papier huilé, et l'autre reçoit un petit tuyau de bois d'un pouce de diamètre et cylindrique extérieurement, qui n'a qu'un pouce au plus de longueur.

» Ce tuyau a intérieurement la forme d'un cône tronqué, et porte à son extrémité la plus étroite un petit verre lenticulaire, dont le foyer est à peu près à la distance du papier huilé; de sorte qu'on peut l'y faire arriver justement, en faisant avancer un peu ou reculer le petit tuyau.

» Si, placé dans un lieu un peu obscur, on tient l'ins-

trument de manière que le verre soit tourné vers quelque objet bien éclairé, et qui ne soit éloigné que de 30 ou 40 pas, on voit cet objet peint avec toutes ses couleurs très-distinctement sur le papier huilé, et dans une situation renversée.

» Ces effets étant parfaitement conformes à ce que nous avons supposé qui arrive dans l'œil, en raisonnant d'après la théorie, et l'instrument employé dans notre expérience imitant l'organe de la vision dans sa partie essentielle, on peut regarder ce que j'ai exposé plus haut, à l'aide des *fig.* 77 et 78, comme une explication anticipée des résultats qu'on vient de voir, et ces résultats comme des preuves complètes de ce que la théorie nous aurait fait prévoir; mais comme l'œil artificiel dont nous avons fait usage ne peut imiter que fort imparfaitement l'organe de la vue, il nous reste encore des remarques importantes à faire sur la vision, dont on trouvera le détail ci-après.

» La cornée avec l'humeur aqueuse qu'elle recouvre, forme un corps transparent d'une surface convexe, et d'une densité plus grande que celle de l'air : de là résultent des effets avantageux; cette partie de l'œil, à cause de sa figure et du pouvoir réfringent qu'elle a, fait entrer dans la prunelle des rayons qui n'y entreraient point sans cela : une partie de ceux qui tomberaient sur l'iris deviennent ou moins divergens ou parallèles, en se réfractant vers *p*, *fig.* 77, et, par cette raison, ils entrent en plus grande quantité dans la prunelle, et font voir l'objet plus clairement. De plus, cette même partie de l'œil, à cause de la saillie qu'elle a, procure à la vue une plus grande étendue. Il est aisé de comprendre que si la cornée était plane et à fleur de l'orbite, l'animal ne verrait que les objets qui seraient directement placés devant lui; il faudrait qu'il tournât la tête à tout instant pour apercevoir les autres; au lieu qu'étant arrondie et saillante, elle fait voir distinctement ce qui est devant l'œil, et apercevoir au moins confusément ce qui est sur les côtés, jusqu'à une certaine distance.

» L'humeur aqueuse, s'il est vrai, comme on le dit, que son dégré de réfringence soit égal, ou à peu près, à celui de l'eau, eût été sans effet pour les poissons, la réfraction de la lumière n'aurait commencé qu'au cristallin : et s'il eût été reculé comme dans les autres animaux, leur vue n'aurait pas eu cette étendue latérale dont je viens de parler. La nature leur a procuré cet avantage, en leur donnant un cristallin d'une figure sphérique d'une consistance plus grande, saillant comme notre cornée, et une prunelle très-ouverte. Son intention n'a point été, comme on le croit communément, de suppléer, par la sphéricité du cristallin, à la quantité de réfraction qui manque, par la suppression de l'humeur aqueuse : il est démontré qu'une lentille formée de deux segmens, rassemble les rayons plus près du point de leur incidence, que ne le peut faire la sphère entière, dont elle fait partie.

» La lumière n'a pas toujours le même dégré d'intensité ; elle est tantôt plus forte, tantôt plus faible, suivant la nature des corps qui nous l'envoient, et la quantité des obstacles qu'elle rencontre sur la route : d'ailleurs, il y a des yeux plus sensibles les uns que les autres à ses impressions ; il était donc nécessaire, pour ménager l'organe, que nous puissions mesurer à notre gré la quantité des rayons qui pénètrent dans l'œil ; et c'est ce que nous faisons sans nous en apercevoir, en rétrécissant ou en dilatant la prunelle. Ces mouvemens se font par l'action de ces petits muscles, dont nous avons dit que l'iris était composée : le premier, par la contraction des fibres droites qui tendent à un centre commun ; et quand cela ne se fait pas assez promptement, nous en ressentons quelques incommodités, comme lorsque nous passons subitement d'un lieu fort obscur dans un autre très-éclairé, ou tout au contraire. Dans le premier cas, le grand jour nous éblouit et nous fait mal aux yeux ; dans le second, nous sommes quelque temps sans voir les objets ; nous ne commençons à les distinguer que quand la prunelle s'ouvre davantage.

» On conçoit facilement, par tout ce que nous avons dit dans la dioptrique touchant les effets des lentilles diaphanes, que le cristallin est capable de rassembler, comme dans un point, sur le fond de l'œil, tous les rayons qui, partant d'un même point de l'objet, arrivent à sa surface antérieure; mais on sait aussi, par les mêmes principes, que ce point de réunion doit être plus ou moins éloigné de la lentille, selon que les rayons incidens sont plus ou moins divergens entre eux; et comme cette divergence diminue à mesure qu'on augmente la distance entre l'objet et l'œil, on demande comment il se peut faire que la vision soit distincte, quand on regarde de plus près ou de plus loin.

» Cette difficulté est réelle et bien fondée. Il est sûr que si des rayons divergens comme A *b*, A *d*, *fig.* 80, en passant par les humeurs de l'œil, s'y réfractent précisément autant qu'il le faut pour se réunir à la distance D D, où l'on suppose le fond de l'œil, d'autres rayons plus divergens, comme B *b*, B *d*, si rien ne change dans cet œil, doivent se réunir plus loin, en *e*, par exemple; et, au contraire, ceux qui seraient moins divergens que les premiers, comme C *b*, C *d*, se croiseraient avant que d'arriver à la distance D D, comme on le voit en *f*. Dans ces deux derniers cas, la vision serait confuse, parce que l'impression de la lumière, au lieu de se faire sur des points de l'organe, se ferait dans des cercles d'une étendue sensible qui anticiperaient les uns sur les autres. Comme il y a des limites assez grandes entre lesquelles cela n'arrive pas (1), les opticiens s'y sont pris de différentes manières pour en rendre raison.

(1) M. Jurin, qui a publié une excellente dissertation sur la vision distincte, prétend que le commun des hommes, dans le moyen âge, voit distinctement les petits objets qui ne sont pas plus près de 6 ou 8 pouces de l'œil, ni plus éloignés que 14 pieds : *Essay ou distinct and indinstinct vision*. Le docteur Porterfield, dans les essais de médecine d'Edimbourg, t. IV, détermine ces limites entre 6 pouces et 27 pouces. Il doit y avoir sur tout cela bien des variations, suivant la différence des yeux, etc.

» Les uns prétendent que le globe de l'œil, par l'action des muscles extérieurs, change de figure au besoin ; qu'il s'alonge pour voir distinctement les objets qui sont trop près de lui ; qu'il se raccourcit, au contraire, pour ceux qui sont trop éloignés. Si cela est, il ne faut pas chercher d'autres raisons : il est certain que si le fond de l'œil D D peut se reculer jusqu'en *e* et se rapprocher en *f*, les trois sortes de rayons incidens, que nous avons supposés plus haut, pourront s'y réunir aussi parfaitement qu'il est possible. Mais en considérant d'une part les limites de la vision distincte, et les différens dégrés de divergence qu'elles permettent aux rayons incidens ; et de l'autre, en sommant les effets que peuvent avoir sur la lumière les humeurs de l'œil, en vertu de leurs pouvoirs réfractifs (1), on trouve qu'il n'est pas vraisemblable, ni même possible, que le globe s'alonge et se raccourcisse autant qu'il faut le supposer, pour satisfaire entièrement à la question dont il s'agit (2).

» Les autres pensent que le cristallin peut s'avancer ou se reculer, par l'action des ligamens ciliaires que l'on regarde comme des petits muscles : cela seul fournirait encore une explication satisfaisante, si les mouvemens qu'on suppose au cristallin pouvaient faire varier la distance qu'il y a entre lui et le fond de l'œil, autant que l'exige la différence de celles auxquelles les objets se voient distinctement ; mais il est encore moins possible que cela arrive par le jeu qu'on suppose au cristallin, que par l'alongement et le raccourcissement du globe de l'œil.

» M. Jurin, que j'ai déjà cité plusieurs fois, a cru trou-

(1) Selon M. Jurin, le sinus d'incidence pour la lumière qui passe de l'air dans l'humeur aqueuse, est au sinus de réfraction comme 4 à 3 ; pour celle qui passe de l'humeur aqueuse dans le cristallin, comme 13 à 12 ; et pour celle qui passe du cristallin dans l'humeur vitrée, comme 12 à 13. *Essay ou distinct and indistinct vision.*

(2) Si l'on admet les limites de la vision distincte établies par M. Jurin, il faudrait que l'axe de l'œil devînt d'un dixième plus long que dans l'état actuel.

ver dans l'anatomie de l'œil, plus approfondie qu'elle ne l'avait été jusqu'à lui, la vraie cause du phénomène dont il est ici question.

» Il observe d'abord que la cornée transparente est flexible et élastique, capable, par conséquent, de devenir plus convexe si elle est tirée en arrière par sa circonférence, et de reprendre son premier état dès qu'on fera cesser l'action qui la resserre.

» Il remarque ensuite que l'uvée est une membrane musculeuse capable de se resserrer, et qu'elle prend son origine dans une protubérance circulaire qui règne le long de l'intérieur de la cornée, à l'endroit où elle se joint à la sclérotique ; il appelle cette protubérance *le grand anneau musculeux*, et nomme *petit anneau musculeux* celui de la même membrane qui est du côté de la prunelle.

» On sait d'ailleurs que le cristallin est renfermé dans une capsule membraneuse, avec un peu d'eau entre deux ; que la partie postérieure de cette capsule est adhérente à la membrane déliée qui contient l'humeur vitrée, et que les ligamens ciliaires, qui sont de petits muscles, tiennent d'une part au bord de cette capsule, et de l'autre à l'endroit où la cornée transparente se joint avec la sclérotique (1).

» A l'aide de ces observations, M. Jurin raisonne ainsi : Lorsque l'œil est parfaitement en repos, et qu'il ne fait aucun effort, il est en état de voir très-distinctement les petits objets à une distance donnée, qui est pour le commun des hommes de 15 à 16 pouces. « Lorsque nous regardons » ces objets de plus près, je crois, continue-t-il, que le » grand anneau musculeux de l'uvée se resserre, ce qui rend » la cornée plus convexe et la première réfraction des rayons » plus grande ; cet effet compense la trop grande divergence » qui vient de la proximité de l'objet. Si nous regardons à une » distance plus grande que de 15 ou 16 pouces, les liga-

(1) Voyez un mém. de M. Petit, dans le vol. de l'Académie des Sciences, pour l'année 1730.

» mens ciliaires, en se contractant, tirent les bords de la » capsule, et font remonter vers eux l'eau qui se trouve » entre cette enveloppe et le corps du cristallin, qui par » là devient moins épais du milieu : sa convexité, ainsi » diminuée, compense le dégré de divergence qui manque » aux rayons qui viennent de trop loin ».

» L'ingénieux auteur de cette explication ne s'est pas contenté de la voir en gros, il l'a soumise au calcul et aux mesures les plus exactes : il est vrai que, dans quelques points, elle n'en soutient pas toute la rigueur ; mais pourquoi ne lui associerait-on pas l'opinion de ceux qui supposent une variation de figure dans le globe de l'œil, du moins pour les espèces d'animaux qui ont cet organe entièrement flexible ? Ces causes étant également probables, je ne vois pas pourquoi l'on s'obstinerait à n'admettre que l'une d'elles, lorsqu'elle ne satisfait pas à toutes ces difficultés.

M. Pouillet a aussi donné une solution de cette difficulté qui paraît plus satisfaisante ; il s'exprime en ces termes :

« En m'occupant de quelques recherches sur ce sujet, j'ai » été conduit à une remarque qui me semble importante. » La dissection d'un grand nombre de cristallins m'a fait » voir que ce corps n'est pas composé de couches concen- » triques, comme on le suppose, mais de couches inégales » en courbure et en épaisseur, comme on le voit dans les » figures 81 et 82. Cette dernière figure représente un cris- » tallin dans lequel une des moitiés seulement a été dissé- » quée. Il en résulte que les couches centrales étant tout à » la fois plus courbes et plus réfringentes que celles des bords, » les rayons qui traversent ces dernières ne peuvent pas con- » verger au même point que ceux qui ont traversé les pre- » mières. Le faisceau central C C′ converge plus près, et le » faisceau des bords B B′ va converger plus loin. Ainsi le » cristallin n'est pas une lentille à un seul foyer, mais une » lentille à un nombre infini de foyers différens. Ce fait me » semble constant ; sans essayer ici de le développer dans » tous ses détails, j'essaierai d'indiquer comment il peut con-

» courir à l'explication des phénomènes. D'abord, si l'on place » au-devant de l'œil une lame opaque percée d'un trou, » dont le diamètre soit moindre que 1 millimètre, on dis- » tingue nettement tous les objets jusqu'à des distances beau- » coup plus petites qu'on ne le pourrait faire sans cette » précaution ; c'est qu'alors le faisceau qui pénètre dans l'œil » est si mince qu'il est à peine nécessaire qu'il soit aminci » davantage par la convergence pour faire des images nettes. » Aussi n'observe-t-on aucune différence lorsque le petit » trou coïncide avec le bord ou le centre de la pupille. » Avec un faisceau mince on peut donc voir nettement à » toutes les distances et par toutes les zônes du cristallin.

» Quand on veut regarder à la vue simple et sans dia- » phragme un objet de plus en plus rapproché, on rétrécit » de plus en plus l'ouverture de la pupille ; c'est un fait fa- » cile à vérifier. Le but de ce rétrécissement est en effet d'ar- » rêter les rayons qui tomberaient trop loin du centre du » cristallin, et dont la convergence ne pourrait avoir lieu » qu'au-delà de la rétine.

» Quand on veut regarder au loin, on ouvre, au con- » traire, la pupille autant qu'il est possible, afin que le fais- » ceau incident soit large, et que ses bords extérieurs tom- » bent près des bords du cristallin, pour converger ensuite » sur la rétine. Alors, il est vrai, la partie centrale du fais- » ceau converge trop tôt, mais l'épanouissement qu'elle peut » prendre en allant depuis son point de convergence jusqu'à » la rétine, est toujours très-petit, et peut d'autant moins » troubler la vision, que l'éclat de sa lumière est toujours » très-faible par rapport à l'éclat de la lumière des bords. »

» S'il est vrai que, pour le commun des hommes, la distance de 15 à 16 pouces soit celle où l'œil voit sans contrainte et distinctement les petits objets, il n'en est pas moins certain qu'il y en a pour qui elle est beaucoup trop grande, et d'autres pour qui elle est trop petite. Les pre- miers s'appellent *myopes*, parce qu'ils distinguent très-bien tout ce qu'il y a de plus petit, en le regardant à la dis-

tance qui leur convient ; on nomme les autres *presbytes*, parce que le défaut de leur vue est fort commun parmi les personnes âgées.

» Les myopes ont les humeurs de l'œil trop convexes pour la distance qu'il y a du cristallin à la rétine : les rayons qui viennent d'un objet placé à 15 ou 16 pouces sont trop peu divergens pour la somme des réfractions qu'ils ont à souffrir ; ils se croisent avant que d'arriver au fond de l'œil. Ceux qui ont ce défaut ne manquent pas sans doute de faire tout ce que font les vues communes à l'aspect d'un objet trop éloigné ; mais comme cela ne leur suffit pas pour voir d'une manière distincte à 15 ou 16 pouces, ils regardent de beaucoup plus près, et par ce moyen ils reçoivent dans leurs yeux des rayons qui ont une grande divergence. Par quelque moyen que ce soit, quand cet excès de divergence se trouve dans un rapport convenable avec la trop grande convexité des humeurs réfringentes, les myopes ont la vision distincte, et ils voient avec plus de clarté que les autres, parce qu'ils reçoivent plus de lumière de chaque point visible.

» Dans l'œil d'un presbyte les humeurs sont moins réfringentes qu'elles ne le sont communément dans les autres yeux, soit par défaut de convexité, soit que quelque maladie ou la vieillesse ait altéré leur pouvoir réfractif : elles ne peuvent pas plier assez les rayons de lumière pour les rassembler sur la rétine, à moins que leur divergence ne soit moindre qu'elle ne l'est, quand ils viennent d'une distance de 15 ou 16 pouces. Voilà pourquoi ces sortes de vues aiment à regarder de fort loin, et que, pour voir distinctement de plus près, il faut que l'œil fasse un effort pour se modifier convenablement.

» Ces sortes de vues, trop courtes ou trop longues, ont une ressource pour voir distinctement ; c'est de rétrécir beaucoup la prunelle : cela diminue la grosseur des pyramides ou pinceaux de lumière qui entrent dans l'œil : par ce moyen les rayons qui les composent, quoiqu'imparfaitement

réunis, ne font point une large impression au fond de l'organe. C'est ce qu'on peut éprouver aisément en mettant tout près de son œil un carte percée d'un trou d'épingle; on voit par là distinctement, comme il a été dit plus haut, tout objet qui serait trop près pour être vu à l'œil nu, parce qu'alors il n'y a, pour ainsi dire, que les axes des pyramides qui contribuent à former l'image.

» Lorsque ces défauts de la vue sont augmentés à un tel point qu'on n'y peut pas remédier, soit en changeant la distance de l'objet, soit par les efforts de l'organe, ou que l'on veut se dispenser d'avoir recours à ces moyens, l'art en fournit d'autres dont je ferai mention un peu plus loin.

» Après tout ce que je viens de dire touchant les limites de la vision, tant pour les vues ordinaires que pour celles des presbytes et des myopes, il reste encore à savoir pourquoi nous distinguons des objets éloignés, au point de les reconnaître à une lieue de distance et bien davantage. Pour répondre à cette question, j'observerai qu'il y a deux sortes de visions, l'une qui est plus distincte, plus parfaite, et qui n'est nécessaire que dans certaines occasions; l'autre qui est imparfaite, moins distincte, et qui suffit ordinairement. Nous désirons la première pour les petits objets et pour tout ce que nous regardons à une petite distance; nous nous contentons de la seconde pour ce qui est grand et fort éloigné. Si je lis une lettre, si j'examine un bijou, j'ai besoin d'en distinguer toutes les parties : tous les points visibles étant contigus les uns aux autres, ne peuvent être vus distinctement qu'autant qu'ils se font sentir séparément sur l'organe, et cela exige que les faisceaux de rayons qu'ils envoient à l'œil fassent bien la pointe sur la rétine. Pour ce dernier effet, la distance plus ou moins grande de l'objet tire à conséquence : il n'en est pas de même si je regarde un édifice qui est à une lieue de moi; peu m'importe de compter les tuiles ou les ardoises de la couverture; je suis content de distinguer le corps du bâtiment, les ailes, les pavillons, les portes, les fenêtres, les cheminées, etc.; et

tout : cela se peut aisément, parce que ces parties, qui sont grandes et séparées les unes des autres, se peignent aussi séparément au fond de l'œil ; ce qui suffit pour les rendre sensibles sans confusion.

» Jusqu'ici j'ai parlé de la rétine comme de la partie de l'œil sur laquelle se font les impressions de la lumière qui servent à la vision ; et en effet c'est le sentiment le plus ancien et le plus commun : mais je ne dois point taire que de très-habiles opticiens attribuent cette fonction à la choroïde, et rapportent, en faveur de leur opinion, des faits et des raisonnemens qui ont beaucoup de poids. J'en supprime le détail, renvoyant le lecteur aux œuvres de M. Mariotte (1), à qui l'on doit cette découverte, si c'en est une ; et au traité des Sens de M. le Cat (2), qui la croit très-réelle, et qui en prend la défense ; mais je ne puis me dispenser de rappeler une expérience très-curieuse qui a donné lieu à cette question, et qui a déterminé M. Mariotte à croire que la choroïde est véritablement l'organe immédiat de la vue.

» Cet académicien sachant que la partie médullaire du nerf optique où la rétine prend son origine n'est point au milieu du fond de l'œil, où se fait la peinture de l'objet qu'on regarde directement, mais un peu plus haut et à côté, en tirant vers le nez (au moins dans l'homme), voulut voir si l'image qui tomberait sur cet endroit y serait sensible. Pour cet effet, il attacha contre une muraille de couleur sombre un petit cercle de papier blanc pour fixer sa vue ; et puis, à la distance d'environ deux pieds sur la droite, il en attacha un autre un peu plus large et un peu plus bas que le premier ; ensuite, tenant l'œil gauche fermé et fixant le droit sur le premier morceau de papier, il apercevait en

(1) Recueil des OEuvres de M. Mariotte, lettre à M. Piquet.

(2) P. . Non-seulement M le Cat adopte le sentiment de M. Mariotte sur l'organe immédiat de la vue, mais il l'appuie par plusieurs expériences de sa façon, et par des observations qui paraissent décider la question.

même temps le second qui était à côté; mais lorsqu'en reculant peu à peu, il fut éloigné à la distance de 9 pieds de la muraille, il perdit de vue celui-ci; et cet effet ne venait pas de ce que ce papier était trop écarté de celui qui servait de point de vue fixe, car les objets qui étaient encore plus loin sur la droite s'apercevaient très-bien. Cette expérience réitérée et retournée de toutes les manières eut toujours le même résultat; et cela prouve incontestablement que les images qui tombent précisément sur la partie médullaire du nerf optique ne sont point sensibles; d'où M. Mariotte conclut que la rétine, qui est une extension de cette partie médullaire, est insensible comme lui, et qu'elle ne sert qu'à modérer l'action de la lumière qui pénètre son tissu transparent, avant que de toucher la choroïde, où il prétend que s'accomplit la vision.

» La clarté de la vision dépend de deux choses : premièrement, de la quantité de rayons qui se rassemblent au fond de l'œil pour faire sentir chaque point visible de l'objet; et en second lieu, de la place plus ou moins grande qu'occupe sur la rétine ou sur la choroïde l'image d'un objet donné : car plus cette image s'étend, plus les impressions se partagent à différentes parties de l'organe, et moins chacune d'elles en est ébranlée. Voilà pourquoi nous ouvrons la prunelle autant que nous le pouvons pour lire l'écriture, quand le jour baisse où que nous sommes dans un lieu sombre; et en tel cas, nous regardons aussi de plus près que ne le demande la portée ordinaire de notre vue. Par ces deux moyens, la prunelle embrasse plus de lumière; mais le dernier exige de la part de l'œil un effort pour remédier à la trop grande divergence des rayons, et cet effort, quand il dure, ne manque pas de fatiguer l'organe.

» Quant au dégré de clarté qui dépend de l'étendue de l'image, il ne serait presque d'aucune considération, si la lumière qui vient de loin ne souffrait beaucoup de déchet en passant au travers de l'air ou des autres corps diaphanes; car si les faisceaux de lumière qui viennent d'un objet éloigné con-

tiennent moins de rayons ; à cause de leur divergence qui les raréfie de plus en plus ; d'un autre côté, l'image qu'ils forment au fond de l'œil diminue de grandeur à proportion ; les impressions se condensent pour ainsi dire à mesure que la lumière qui les produit se raréfie.

» Lorsqu'étant dans une chambre nous regardons les passans à travers les vitres, nous les voyons bien mieux qu'ils ne nous voient. Ce qui cause cette différence, c'est que la lumière qui vient d'eux à nous est plus vive que celle avec laquelle ils nous aperçoivent ; de plus, leurs yeux affectés du grand jour où ils sont ne peuvent sentir cette lumière faible, autant que les nôtres, qui sont plus reposés, en peuvent sentir une plus forte. Les effets sont tout différens lorsqu'il fait nuit au-dehors, et que nous sommes dans un lieu bien illuminé.

» Quand un objet se meut très-rapidement devant nos yeux, nous lui attribuons souvent une grandeur et une figure qu'il n'a point. Un polyèdre qui tourne sur son axe nous semble être une sphère, de même qu'un cercle qu'on fait tourner sur un de ses diamètres. Les petits moulins à vent dont les enfans s'amusent ont la forme d'un plan circulaire ; les cordes qui sont en vibration se voient sous la figure d'un losange fort alongé ; le charbon ardent qu'on fait tourner représente un cercle lumineux ; la fusée qui s'élève paraît être une traînée de feu, etc. Tous ces effets dépendent d'une même cause que voici : l'objet qui se meut se peint successivement sur différens endroits au fond de l'œil : lorsque cette image passe rapidement de l'un à l'autre, l'impression qu'elle a faite sur le premier subsiste encore quand elle commence à se faire sentir sur le second, sur le troisième, etc. Il arrive de là que les apparences successives de l'objet, en différens lieux, nous paraissent comme liées ensemble : ainsi celui qui se verrait comme un point, s'il était en repos, se voit comme une ligne quand il passe d'un lieu dans un autre avec une certaine vîtesse ; celui qui n'a de visible que sa longueur représente un plan, et le demi-

cercle qui fait des révolutions autour de son diamètre, présente à l'œil une sphère solide. Ainsi l'on a tout lieu de croire que ces traînées de lumière qu'on voit pendant la nuit dans l'atmosphère, et que le vulgaire appèle *étoiles qui changent* ou *qui tombent*, ne sont que des globes de vapeurs enflammées qui passent rapidement d'un lieu dans un autre, ou l'inflammation successive mais rapide de pareille matière, étendue suivant une certaine direction.

» En rapprochant les paupières l'une de l'autre, comme pour fermer l'œil (ce qui s'appèle communément *cligner*), si vous regardez directement une chandelle allumée pendant la nuit, vous apercevrez aux parties supérieures et inférieures de la flamme, de longs rayons de lumière semblables à ceux par lesquels on représente la gloire autour des images des Saints; et si vous abaissez doucement quelque obstacle, comme le doigt ou la main devant l'œil, vous intercepterez les rayons d'en bas; ceux d'en haut disparaîtront de même, si vous faites monter l'obstacle de bas en haut.

» Ce fait a mérité l'attention des physiciens. M. de la Hire croit que cela vient de ce que les rayons de lumière qui viennent de la flamme se réfractent de haut en bas et de bas en haut, en traversant une eau glaireuse qui s'amasse au bord des paupières, à l'endroit où elles touchent la cornée transparente. M. Briggs, célèbre médecin anglais, dans son Ophthalmographie, a pensé à peu près de même. Mais M. Smith, considérant que les rayons dont il s'agit ne se présentent point sous diverses couleurs, comme il doit arriver à une lumière réfractée, ne goûte point cette explication; il pense que le fait dont il s'agit doit être plutôt attribué aux inflexions que souffrent les rayons en passant près des bords de la paupière, tant d'en haut que d'en bas.

» Nous avons deux yeux, et dans l'usage ordinaire que nous en faisons, nous ne voyons pas l'objet double, quoiqu'il soit bien vrai que son image se peint en même temps dans l'un et dans l'autre. Est-ce, comme l'ont dit plusieurs auteurs célèbres, que nous n'en faisons agir qu'un à la fois, et que

de ces deux organes il y en a toujours un qui se repose ? ou bien l'âme ne fait-elle attention qu'à l'une des deux images ? Je crois bien qu'on peut me citer des cas où cela arrive ; mais comme il s'agit ici de ce qui se passe ordinairement dans la vision des objets, ce n'est point sur quelques exemples particuliers que je dois me régler. Or, à juger de la vue des autres par la mienne et par celle d'un grand nombre de personnes que j'ai consultées, il est certain qu'on voit des deux yeux le même objet, et que les deux images influent sur la vision et contribuent à la sensation, car on voit mieux et plus fortement des deux yeux qu'avec un seul; on se fatigue moins la vue et l'on juge plus promptement, plus sûrement, de ce que l'on regarde. Quand bien même il y aurait des hommes qui, dans les cas ordinaires, n'emploieraient qu'un œil, ne faudrait-il pas toujours expliquer pourquoi ces sortes de borgnes ne voient pas double dans les occasions où ils en emploient deux ? Voici comment le plus grand nombre des opticiens répondent à cette question :

» La membrane qui tapisse le fond de l'œil, et sur laquelle se peint l'objet (que ce soit la rétine ou la choroïde, peu nous importe ici), cette membrane, dis-je, est un tissu de fibres qui appartiennent au nerf optique, et nous avons lieu de croire, au moins peut-on le supposer avec beaucoup de vraisemblance, que dans les deux yeux d'un même individu, ces membranes, pour l'ordinaire, se ressemblent par le nombre et l'arrangement des filets nerveux qui les composent. Cela étant ainsi, dès que les deux yeux se dirigent vers un même objet, les images tombent, dans l'un et dans l'autre, sur des parties semblables et correspondantes du tissu dont je viens de parler, et les deux sensations qui en résultent étant, pour ainsi dire, à l'unisson l'une de l'autre, ne font naître dans l'âme qu'une seule et même idée, plus forte et mieux décidée que par une seule image, mais toujours identique, à peu près comme le son qui frappe les oreilles, ou l'odeur qu'on reçoit dans les deux narines.

» Il suit de là qu'on doit voir l'objet double quand les deux images tombent au fond des yeux sur des parties qui ne sont pas analogues ou correspondantes ; et, c'est en effet ce qui arrive quand ces parties semblables ne se trouvent pas tournées du côté du même objet, comme on peut l'éprouver soi-même en pressant un peu de côté l'un des deux yeux pour le détourner.

» La direction des deux *axes optiques* (1) vers un même objet nous est utile, non seulement parce qu'elle nous empêche de le voir double, mais elle nous sert encore à bien juger de sa distance quand il n'est pas fort éloigné. Sans ce secours, nous nous y trompons fort aisément, et ce n'est que par une grande habitude qu'on apprend à s'en passer. Un homme qui ferme un œil ou qui est nouvellement borgne, ne porte point à coup sûr le bout du doigt sur une petite pièce de monnaie placée à quelques pieds de lui, comme le fait un autre homme qui laisse agir ses deux yeux, parce que celui-ci est guidé par le croisement des axes optiques. Si le chasseur avait besoin de juger de la distance autant que de la direction de la perdrix qu'il a en vue, il aurait tort de fermer un œil pour tirer plus juste.

» Un homme passe pour avoir la *vue droite* quand il dirige naturellement et sans efforts les axes de ses deux yeux vers l'objet qu'il regarde ; et l'on dit qu'il est *strabite*, ou qu'il a la *vue louche*, quand l'un de ses yeux se tourne directement à son objet, et que l'autre s'en écarte pour se diriger ailleurs.

» M. de la Hire qui s'est appliqué particulièrement à examiner les défauts et les accidens ds la vue, dit, pour rendre raison du *strabisme*, que l'image de l'objet ne se peint bien distinctement que sur une portion de la rétine qu'il suppose être la plus sensible, et au milieu de laquelle répond l'extré-

(1) On appelle *axe optique* la ligne qui, venant du fond de l'œil, passe par les centres du cristallin et de la cornée transparente, et se prolonge jusqu'à l'objet.

mité de l'axe optique dans un œil bien conformé ; mais que, dans les yeux louches, cette partie est plus d'un côté que de l'autre ; de sorte que, pour y faire tomber les images, il faut que l'axe optique se dirige différemment que celui d'un œil qui a le regard droit.

» M. Jurin allègue contre cette explication une expérience facile à faire et qui paraît sans réplique : c'est que l'œil louche qui se détourne de l'objet quand l'autre agit, ne manque pas de se retourner directement vers lui quand on ferme le bon œil. S'il s'était d'abord tourné de travers pour présenter la partie sensible de la rétine qu'on suppose être mal placée, comment peut-il voir l'objet quand il se redresse, ou plutôt pourquoi se redresse-t-il pour le voir ?

» M. de Buffon, qui a traité cette matière (Mém. de l'Acad. des Sc. 1743, p. 231.) depuis M. Jurin, pense comme lui que les strabites ne regardent jamais que d'un œil, et il en tire la raison d'un fait qui est assez connu ; c'est que dans la plupart des hommes les deux yeux n'ont pas la lumière distincte dans les mêmes limites : l'œil droit, par exemple, verra fort bien les plus petits objets depuis 8 pouces de distance jusqu'à 20, et pour l'œil gauche, ce sera peut-être depuis 12 jusqu'à 24. Or, dit M. de Buffon, quand cette inégalité est grande à un certain point, les deux yeux ne peuvent pas voir ensemble le même objet distinctement ; l'image confuse dans l'un des deux empêche que l'impression qui se fait plus correctement dans l'autre, ne soit aussi bien sentie qu'elle le serait, si elle était la seule ; et comme on cherche naturellement à voir aussi bien qu'il est possible, la personne qui a ce défaut contracte l'habitude de détourner l'œil hors de la portée duquel l'objet se trouve, pour ne laisser agir que celui qui peut le distinguer nettement.

» Cette explication est tout-à-fait ingénieuse ; elle n'est cependant pas au-dessus de toute difficulté. M. de Buffon en a prévu plusieurs qu'on pouvait lui faire, et auxquelles il répond par des expériences et par des raisonnemens plau-

sibles : il ajoute de plus que le strabisme pourrait bien avoir d'autres causes que celle qu'il a indiquée, mais il croit que celle-là est la principale et la plus commune.

» Pour moi, après avoir long-temps réfléchi sur le strabisme, après avoir observé et questionné un grand nombre de personnes de tout sexe et de tout âge qui avaient ce défaut, je suis porté à croire qu'il y a deux sortes de louches : que les uns le sont nécessairement et toujours par une mauvaise conformation de l'organe, et les autres seulement par habitude ou par distraction; que les premiers voient des deux yeux le même objet et le voient simple; que les derniers, ou ne voient que d'un œil à la fois, ou voient double ce qu'ils regardent; que ceux-ci, par attention sur eux-mêmes, peuvent se corriger avec le temps, mais qu'il est presqu'impossible que la vue des autres se redresse, surtout s'ils sont nés avec ce défaut, ou qu'ils l'aient contracté depuis long-temps.

» L'œil est sujet à plusieurs maladies. Une des plus fâcheuses, c'est lorsque le cristallin devient opaque, en tout ou en partie; c'est ce que l'on appelle *cataracte*. Quand cette opacité est bien décidée, le seul remède qu'on y puisse apporter est de retrancher cette partie de l'œil, et d'y suppléer par l'usage d'une lunette appropriée à ce défaut. Il y a deux manières d'ôter le cristallin : la plus ancienne, et celle qu'on pratique encore le plus souvent, c'est de faire un petit trou dans la cornée opaque pour y introduire une espèce d'aiguille, avec laquelle on détache le cristallin des ligamens ciliaires, pour le faire tomber dans la partie inférieure du globe de l'œil, et au-dessous de la prunelle. La seconde façon qui est plus nouvelle, et que j'ai vu pratiquer avec beaucoup d'adresse et de succès à M. Daviel, qui s'est rendu célèbre par cette opération, c'est de couper avec des ciseaux la cornée transparente, dans les deux tiers de sa circonférence, et d'emporter hors de l'œil le cristallin tout entier. Les bords de la cornée se rejoignent ensuite à la sclérotique, et l'humeur aqueuse se répare : c'est l'affaire de 8 ou 10 jours.

De quelque manière qu'on supprime le cristallin devenu opaque, la vue revient à celui qui l'avait perdue par cet accident. Le globe de l'œil étant totalement rempli par les deux humeurs aqueuse et vitrée, les rayons de lumière qui ne trouvent plus d'obstacle se rassemblent sur la rétine, mais imparfaitement, parce qu'il leur manque le dégré de réfraction qu'ils reçoivent ordinairement dans le cristallin. On y supplée par l'usage d'un verre convexe qu'on tient devant l'œil, comme je le dirai plus particulièrement en parlant des lunettes propres aux presbytes.

» Un autre accident de la vue, c'est lorsque la bile vient à se mêler abondamment avec l'humeur aqueuse. Alors tous les objets paraissent jaunes, parce que la lumière qu'ils envoient vers les yeux qui ont cette maladie, se modifie comme si elle passait par un verre jaune, et qu'il n'y a presque plus que des rayons de cette couleur qui tracent les images au fond de l'organe. Il s'est trouvé des gens qui, à la suite d'une maladie ou de quelque grand accident, voyaient rouge, verd ou bleu, tout ce qui s'offrait à leur vue. Il y a lieu de croire que les humeurs de leurs yeux avaient reçu quelque teinte de ces couleurs.

» Pendant la nuit, si l'on se frotte les yeux d'une certaine manière, ou si l'on y reçoit un coup un peu rude, il arrive souvent qu'on croit voir des traits de lumières ou de grosses étincelles. D'où peuvent venir ces apparences dans l'obscurité, et même lorsque nous avons les yeux bien fermés ? Nous ne pouvons les attribuer qu'à l'ébranlement de l'organe qui en rend quelque partie lumineuse, mais il nous serait difficile de dire au juste comment cet effet a lieu. Peut-être qu'il n'y a aucune lumière produite, et que les nerfs sont modifiés par le choc, dont l'action leur est transmise en partie, comme si la choroïde était devenue lumineuse.

» Nos sensations naissent des impressions qui se font sur certaines parties de nos corps. Si telle ou telle impression peut se faire par différens moyens, la même sensation peut avoir lieu par plusieurs causes : nous en avons des exemples

dans les autres sens. Ce tintement que nous sentons quelquefois dans l'oreille, ne ressemble-t-il pas à certains sons qui nous viennent ordinairement du dehors? Et pourquoi comparons-nous les douleurs aiguës causées par une colique, à celles que fait sentir une pointe ou un tranchant, sinon parce que les unes ou les autres nous paraissent tout-à-fait semblables? Les bluettes que nous voyons dans l'obscurité, nous donnent donc tout lieu de croire que le fond de l'œil est affecté, comme il le serait par une lumière qui viendrait du dehors.

» Après avoir parlé des effets de la lumière en général, par rapport à la vision, il me reste un mot à dire touchant la manière dont nous apercevons la couleur de chaque objet.

Les couleurs considérées dans la vision ne sont autre chose que les idées particulières qui naissent ou qui se réveillent en nous, à l'occasion des impressions qui se font sur l'organe qui se trouve modifié par les rayons venant des objets extérieurs, à des profondeurs plus ou moins grandes correspondantes aux diverses couleurs, et illuminées avec plus ou moins d'intensité, comme il résulte de l'expérience de l'œil de veau ou de l'œil artificiel, rapprochée de ce que nous avons dit sur les qualités de la lumière (*voy.* pag. 9).

Ces idées de couleur qui s'excitent en nous par les rayons de lumière qui nous viennent des objets extérieurs, se réveillent ou subsistent également et indépendamment de ces causes, pourvu que l'organe reçoive ou conserve, par quelque moyen que ce puisse être, une impression semblable à celle qui les fait naître ordinairement. Voilà pourquoi, lorsqu'on a fixé la vue pendant un certain temps sur quelque couleur bien éclatante, il est assez ordinaire de continuer de la voir, quoiqu'on ferme les yeux.

Toutefois, sa couleur peut alors n'être plus la même. Si nous concevons, divisée en deux autres, la couche lumineuse à la surface de la choroïde, la seconde pourra se refroidir d'abord plus vîte que la première, et l'action de celle-ci prédominant, la sensation sera celle qui corres-

pond à une couleur ou à une autre, suivant la profondeur de la couche dont l'action sera devenue insensible comparativement. La première couche étant restée plus chaude, pourra se refroidir ensuite plus vîte que la seconde, et l'action de celle-ci redeviendra sensible. On conçoit, d'après cela, qu'il est possible qu'on voie plusieurs couleurs se succéder, et la même reparaître à plusieurs reprises. La forme de l'image peut aussi changer ; un triangle peut être remplacé par un polygone d'un plus grand nombre de côtés, parce que des angles moins vivement lumineux peuvent s'éteindre avant que le reste de l'image ait disparu. C'est à peu près ce qu'on éprouve quand on ferme les yeux ou qu'on entre dans un lieu fort obscur, aussitôt après avoir regardé en face le soleil couchant. On voit successivement sur le disque du soleil qui demeure empreint dans l'imagination, du blanc, du jaune, du rouge, du verd, du bleu ou du violet, et enfin du noir, à peu près dans l'ordre des couleurs prismatiques, quelquefois aussi sans ordre et à diverses reprises, selon que les mouvemens dans les couches d'atomes s'affaiblissent plus ou moins promptement.

» Ces couleurs et toutes celles qui naissent, qui se conservent ou qui varient ainsi sans la présence des corps colorés, se nomment *accidentelles*. Parmi les auteurs qui en ont fait mention, personne que je sache ne les a mieux étudiées que M. de Buffon (Mém. de l'Acad. des Sc. 1743, p. 147 et suiv.). Il a remarqué dans ces couleurs une certaine correspondance avec celles qu'on nomme *réelles*, et dont les idées sont réveillées en nous par les objets extérieurs. Il observe, par exemple, que le rouge produit ordinairement le verd ; qu'au jaune succède le bleu ; que les couleurs accidentelles mêlées avec les réelles donnent les mêmes phénomènes que ces dernières mêlées avec d'autres de même nature. Ces remarques sont fondées sur des expériences et sur des observations curieuses, dont je suis obligé de supprimer ici le détail, mais qui feront certainement plaisir au lecteur qui aura du goût pour ces sortes de recherches, et qui prendra la peine de lire le Mémoire que j'ai cité ci-dessus.

» On y trouve, par exemple, l'exposition d'un fait qui paraît d'abord assez singulier : « C'est que les ombres des » corps qui, par leur essence, doivent être noires, puis- » qu'elles ne sont que la privation de la lumière; que les » ombres, dis-je, sont toujours colorées au lever et au » coucher du soleil. Je ne sache pas, ajoute M. de Buffon, » qu'aucun astronome, qu'aucun physicien, que personne, » en un mot, ait parlé de ce phénomène. J'ai cru, qu'en » faveur de la nouveauté, on me permettrait de donner le » précis de cette observation. »

» Il y a ainsi dans les sciences et surtout en physique, certaines découvertes qui s'oublient, qui se perdent même, et qu'on retrouve quelquefois après plusieurs siècles. En est-on moins redevable à ceux qui nous les rendent? Le fait dont il s'agit était connu il y a 250 ans; on le trouve très-bien exprimé dans l'ouvrage d'un savant et habile peintre italien (1), qui mourut à Fontainebleau entre les bras d'un de nos rois (2). On lit au titre de son 328e chapitre : *Pourquoi sur la fin du jour les ombres des corps produites sur un mur blanc, sont de couleur bleue ?* Et il explique ce phénomène par des raisons qui paraissent très-plausibles. Je vais rapporter ses propres paroles :

« Les ombres des corps, dit-il, qui viennent de la rou- » geur du soleil qui se couche et qui est proche de l'hori- » zon, seront toujours azurées. Cela arrive ainsi, parce que » la superficie de tout corps opaque tient de la couleur du » corps qui l'éclaire; donc, la blancheur de la muraille étant » tout-à-fait privée de couleur, elle prend la teinte de son » objet, c'est-à-dire du soleil et du ciel; et parce que le » soleil vers le soir est d'un coloris rougeâtre, que le ciel

(1) Léonard de Vinci. L'ouvrage dont il s'agit est intitulé : *Traité de la Peinture.* Il a été imprimé pour la première fois à Paris en 1651, en Italien et en Français : on en a fait une édition française in-12, en 1716. Cet ouvrage est très-instructif, non seulement pour les peintres, mais même pour les physiciens.

(2) François premier.

» paraît d'azur, et que les lieux où se trouve l'ombre ne » sont point vus du soleil (puisqu'aucun corps lumineux » n'a jamais vu l'ombre du corps qu'il éclaire); comme les » endroits de cette muraille où le soleil ne donne point sont » vus du ciel, l'ombre dérivée du ciel qui fera sa projection » sur la muraille, sera de couleur d'azur, et le champ de » cette ombre étant éclairé du soleil, dont la couleur est » rougeâtre, participera à cette couleur rouge. »

» C'est-à-dire que la muraille blanche se teint sensiblement de la lumière azurée du ciel, et que cette couleur ne paraît qu'à l'endroit de l'ombre, parce qu'ailleurs elle est illuminée par une lumière plus forte qui empêche le bleu de paraître. Il suffit pour cela que l'ombre soit faible, et c'est une condition sur laquelle on peut compter quand le soleil n'est pas fort élevé sur l'horizon.

» On a dû comprendre, par tout ce que j'ai dit ci-dessus touchant la vision, comment la lumière en général, passant par les humeurs de l'œil, se modifie de manière à tracer correctement, sur le fond de cet organe, les images des objets qui nous l'envoient. J'ai fait entendre aussi comment les images nous représentent les couleurs naturelles de ces mêmes objets. N'est-on pas en droit maintenant de me demander par quel moyen nous voyons ce qui est noir, puisque, selon ce que nous avons dit, il ne vient aucune sorte de lumière des corps de cette espèce ?

» Cette question mérite certainement une réponse; mais ce qui m'en déplaît un peu, c'est que celle que je dois produire paraîtra peut-être un paradoxe à ceux de mes lecteurs qui ne prendront pas la peine d'y réfléchir.

» Quand nous regardons un corps noir, ce n'est pas lui que nous voyons ; ce sont les surfaces éclairées ou lumineuses qui l'environnent et qui lui servent comme de champ. La lumière qu'elles envoient fait impression sur tout le fond de l'œil, excepté l'endroit auquel répond l'objet que nous avons en vue. Cet endroit de l'organe qui ne reçoit point de lumière est circonscrit ou terminé selon la figure du corps noir

qui est cause de cette privation, et c'est par là que nous jugeons de la grandeur, de la forme, de la situation, de la nature de celui-ci. Oui, quand nous lisons un livre, ce ne sont point les lettres imprimées avec de l'encre qui font impression sur nos yeux, c'est le blanc du papier qui est entr'elles, puisque c'est de là seulement qu'il vient de la lumière : nous ne les distinguons que par les défauts de sensation qu'elles occasionnent.

» Mais si cela était, me dira-t-on, tous les corps noirs nous paraîtraient comme de simples taches, comme des ombres. Chacun sait par sa propre expérience, qu'un homme vêtu de noir, un animal de cette couleur ne se voient point ainsi ; l'on en distingue toutes les parties avec leurs reliefs.

» C'est que ces objets ne sont pas entièrement noirs comme on le suppose. Les parties les plus saillantes et les plus exposées au jour se détachent des autres par des nuances plus ou moins claires, et par des reflets de lumière qui en font sentir les contours, les arrondissemens, etc. Cela est si vrai, qu'un peintre qui entreprend de les représenter dans un tableau, n'en peut venir à bout qu'en employant du blanc ou d'autres couleurs capables de réfléchir de la lumière ; et si ces corps ne sont point éclairés du côté par lequel nous les regardons, nous les voyons alors comme de véritables ombres. »

De la vision aidée par les instrumens d'optique. — « La vision naturelle, lorsque l'organe est dans sa plus grande force, dans son état le plus parfait, est assujétie à des conditions et renfermée dans des limites. Si l'objet n'est point découvert au point que de lui à nous on puisse tirer une ligne droite sans aucun obstacle, nous ne l'apercevons pas, fût-il même convenablement exposé à nos regards. S'il est trop loin ou trop petit, il nous échappe, et c'est encore pire si l'œil est affaibli ou mal conformé ; la petitesse et la distance du corps visible le gênent davantage.

« Ces inconvéniens ont subsisté long-temps sans remède ; mais enfin, le hasard d'un côté, l'industrie de l'autre, éclai-

rée et soutenue par l'étude, nous en ont affranchis en quelque façon. Par le secours des miroirs et des verres taillés d'une certaine manière, nous pouvons apercevoir ce qui est caché à nos regards directs; nous découvrons dans le sein de la nature des êtres qui semblaient devoir être à jamais imperceptibles pour nous. Les objets trop éloignés se rapprochent, pour ainsi dire, et se laissent voir distinctement; la vue des vieillards à moitié éteinte se ranime; celle qui est trop courte devient plus étendue; enfin, quand nos besoins sont satisfaits, les mêmes moyens fournissent encore des amusemens très-dignes de notre curiosité. C'est à faire connaître, au moins en gros, ces avantages, que nous allons maintenant nous appliquer.

Lunettes dont on se sert pour lire. « Le défaut de la vue le plus ordinaire, et qui est presqu'inévitable à un certain âge, c'est de ne pouvoir plus distinguer nettement les petits objets à la distance de 8 ou 10 pouces, comme on le fait ordinairement dans la jeunesse. On est obligé de regarder de plus loin; et quand cet éloignement, devenu indispensable, s'accroît à un certain point, non seulement il est incommode, mais il ne rémédie presque plus à rien, parce que les petits objets, à une grande distance de l'œil, soutendent des angles trop petits, ou, ce qui est la même chose, leur image occupe trop peu de place au fond de l'organe pour y faire une impression suffisante.

» Les hommes qui nous ont précédés de quatre à cinq siècles ou davantage, perdaient ainsi l'usage de la vue long-temps avant de mourir. Pendant nombre d'années, ils étaient réduits à ne plus voir que les gros objets, et à ne les voir qu'imparfaitement; mais enfin, vers l'an 1300, on fit une heureuse application de la propriété qu'ont les verres convexes, d'amplifier les objets; propriété connue 200 ans auparavant (1), dont on n'avait tiré jusqu'alors aucune

(1) Alhasen qui vivait vers l'an 1100, dit très-expressément dans son Opt. liv. 7, chap. 48, que si un objet est appliqué à la base d'un grand segment d'une sphère de verre, il paraîtra plus grand.

utilité. On croit, avec beaucoup de vraisemblance, que Bacon, cordelier d'Oxford, eut plus de part que personne à cette importante invention (1). Quoi qu'il en soit, on a des preuves certaines qu'on se servait communément de lunettes au commencement du 14e siècle, et que c'était une invention nouvelle (2).

» Je crois avoir suffisamment fait connaître, *pag.* 132, ce qui manque à la vue des presbytes ou des vieillards, pour la vision distincte, et de quelle manière ils y suppléent quand ce défaut n'est pas trop grand. Il me reste à expliquer ici comment l'usage des lunettes vient au secours de la nature, lorsque ses ressources sont épuisées : c'est ce que je vais faire en deux mots.

» Ces sortes de vues sont défectueuses, parce que les humeurs de l'œil ont trop peu de convexité, ou qu'en changeant de nature par succession de temps, elles ont perdu une partie de leur pouvoir réfractif. Les rayons qui viennent d'un objet placé à 8 ou 10 pouces de distance, sont trop divergens pour s'y plier autant qu'il le faudrait; ils touchent

(1) *Voici les paroles de cet auteur :* Si homo aspiciat litteras et alias res minutas per medium cristalli vel vitri vel alterius perspicui suppositi litteris, et sit portio minor spheræ, cujus convexitas sit versùs oculum, et oculus sit in aere, longe melius videbit litteras, et apparebunt ei majores..... et ideo hoc instrumentum est utile senibus et habentibus oculos debiles. *Or le frère Bacon mourut en* 1292. Cependant M. Smith prouve assez bien, par la suite même du passage dont je viens de rapporter des fragmens, que cet auteur n'a pas inventé lui-même les lunettes; mais on ne peut pas nier qu'il n'ait bien mis sur la voie ceux qui avaient lu son ouvrage.

(2) On cite un manuscrit de 1299, qui est aussi de la bibliothèque de M. Redi, dans lequel on lit ce qui suit : *Mi trovo cosi gravoso di anni, che nod arei volenza di legere e scrivere senza vetri appellati okiali, trovati novellamente, per commodita delli poveri veki, quando affiebolano del vedere.*

Bernard Gordon, médecin de Montpellier, qui écrivait vers l'an 1305 son *Lilium Medicinæ*, dit, en recommandant un certain collyre qu'il croyait très-bon : *Et est tantæ virtutis, quod decrepitum faceret legere litteras minutas, absque ocularibus.*

le fond de l'organe avant que d'être rassemblés : de là naît une vision confuse, selon ce que nous avons enseigné précédemment. On rémédie à ce mauvais effet en mettant, entre l'œil et l'objet, un verre d'une certaine convexité, dont la propriété est, comme l'on sait, de rendre de tels rayons, ou moins divergens, ou parallèles, ou même convergens. Ainsi, en proportionnant la convexité du verre au défaut de l'œil, on dispose de telle manière les rayons incidens, que l'organe, tout faible qu'il est, se trouve en état de les réunir justement sur la rétine, et l'image devient nette.

» Les lunettes que les vieillards mettent sur le nez sont donc composées de deux verres un peu convexes des deux côtés ou d'un seul. Elles font voir plus distinctement, par les raisons que je viens de déduire, et plus clairement, parce qu'en diminuant la divergence des rayons incidens, elles en font entrer une plus grande quantité dans la prunelle. On les nomme *binocles*, parce qu'elles servent en même temps aux deux yeux, en quoi elles sont plus avantageuses que celles qui n'ont qu'un seul verre, et qu'on appelle *lorgnettes* ou *monocles*, car l'action simultanée des deux yeux rend la vision plus forte et plus commode.

» Comme le bon effet des lunettes, pour ceux qui en ont besoin, vient de ce qu'elles changent à leur avantage la disposition des rayons incidens, elles ne peuvent que nuire aux vues à qui la divergence naturelle de ces rayons est convenable; voilà pourquoi les jeunes gens qui voient bien sans lunettes ne distinguent plus rien quand ils essaient de s'en servir. Les personnes mêmes à qui elles sont utiles pour les objets qu'elles regardent de près, les trouvent d'un mauvais usage pour voir au loin, parce que les rayons incidens étant alors comme parallèles, à cause du grand éloignement de l'objet, deviennent convergens en passant par les lunettes, ce qui donne lieu à l'œil de les réunir trop tôt, et avant qu'ils soient arrivés à la rétine.

» L'usage des lunettes annonce ordinairement que nous commençons à vieillir. L'amour-propre nous dissimule, au-

tant qu'il peut, le besoin que nous avons de ces instrumens : c'est pourquoi l'on ménage notre délicatesse en nous les donnant d'abord sous le nom de *conserves*. Tranchons le mot : ces conserves sont des lunettes comme celles des vieillards, à cela près qu'elles sont moins convexes. Si elles ne le sont pas du tout, comme on s'efforce de vous le faire croire, il est inutile de vous en masquer le visage; elles ne sont bonnes à rien, si ce n'est dans le cas où l'on aurait le fond de l'œil si sensible, qu'on fût obligé de modérer la lumière qui vient des objets qu'on regarde ; alors on pourrait se servir de lunettes composées de verres plans et d'une couleur un peu verte.

» Etant donnée la distance à laquelle on est obligé de reculer les objets pour les voir distinctement, on peut déterminer le dégré de convexité que doivent avoir les verres de lunettes pour rendre la vision distincte à 8 ou 10 pouces, comme elle l'est pour les vues ordinaires. Il ne faut pour cela qu'assujétir les rayons incidens aux lois de la réfraction que nous avons établies dans la dioptrique, ayant égard aux différens dégrés de réfringence des humeurs de l'œil humain et à leurs figures ; mais il est encore plus simple et plus commode, quand on le peut, d'entrer dans les boutiques des marchands qui ont de ces instrumens à choisir, et de s'accommoder de celui avec lequel on voit le mieux.

» Un autre défaut de la vue tout-à-fait opposé à celui dont je viens de parler, c'est de ne pouvoir distinguer les objets que de fort près : j'en ai dit la cause en parlant des myopes, *pag.* 132. Quand ces sortes de vues sont si courtes qu'il ne suffit pas d'approcher les petits objets à 5 ou 6 pouces des yeux, c'est une incommodité des plus grandes. On est à demi-aveugle, parce qu'on ne distingue presque plus rien à 5 ou 6 pas, et pour examiner ce qu'on tient à la main, on ne peut employer qu'un œil à la fois, parce que les axes optiques ne peuvent plus se réunir sur un même point quand l'angle qu'ils forment entr'eux doit être plus grand que de soixante dégrés : ajoutez à cela que, quand

on regarde de si près, il est très-difficile que l'objet soit éclairé suffisamment.

» C'est donc rendre un très-grand service à ceux qui ont la vue trop courte, que de leur procurer le moyen de bien voir de plus loin; et c'est ce que l'on fait en mettant devant leurs yeux un verre concave dont la propriété est de rendre divergens les rayons qui ne le sont pas, et d'augmenter la divergence de ceux qui n'en ont point assez. Car le défaut de cette vue venant, comme je l'ai dit, de ce que les rayons trop fortement réfractés dans les humeurs de l'œil se rassemblent avant que d'arriver à la rétine, on porte infailliblement cette réunion plus loin, en augmentant la divergence des rayons inclinés; il ne s'agit que de proportionner la concavité du verre à l'excès de convexité qui fait le vice de l'organe. C'est ce que l'on peut déterminer encore par les règles de la dioptrique; mais dans la pratique, il est plus court de choisir dans plusieurs verres de cette espèce celui qui fait le mieux voir.

» Les personnes qui se servent de verres concaves voient les objets plus petits qu'à la vue simple; mais ils les voient nettement et à des distances plus grandes. On dit communément que les vues courtes durent plus long-temps que les autres. Si cela est aussi vrai que consolant, on en peut rendre raison en disant que, comme les yeux des myopes pèchent par trop de convexité, s'ils s'applatissent en vieillissant, ils ne doivent point arriver aussitôt que d'autres à l'excès opposé. Ce qu'il y a de certain, c'est que les personnes qui ont la vue courte écrivent et aiment à lire les petits caractères. Mais je ne regarde pas ce penchant comme le signe d'une meilleure vue; je crois que cela vient plutôt de ce qu'ils en découvrent plus d'un seul coup-d'œil.

» On peut faire voir très-sensiblement les effets des lunettes, tant convexes que concaves, par une expérience très-curieuse. Prenez cet œil artificiel que j'ai employé dans l'expérience de la page 124, et qui est représenté par la fig. 79; tirez un peu en avant le petit tuyau qui porte

la lentille de verre, et alors vous verrez que les images des objets seront très-confuses sur le papier huilé : c'est le cas d'une vue courte ou d'un œil trop convexe qui rassemble les rayons avant qu'ils soient parvenus à la rétine. Présentez devant le tuyau un verre un peu concave, vous verrez aussitôt que l'image qui était confuse deviendra très-distincte.

» Faites ensuite tout le contraire. Enfoncez le tuyau plus qu'il ne faut pour représenter la vision naturelle : c'est le cas de l'œil presbyte qui ne peut pas réfracter les rayons assez pour les réunir sur la rétine ; aussi l'image sera-t-elle encore très-confuse sur le papier huilé. Mais elle deviendra nette et distincte dès que vous mettrez devant le tuyau la lunette d'un vieillard, c'est-à-dire, un verre un peu convexe (1). »

Chambre obscure. « Après l'œil artificiel dont je viens de parler pour la seconde fois, rien ne représente mieux les effets de la vision que ce qui se passe dans une chambre bien obscure, dans laquelle il n'entre de jour que par un trou d'un pouce de diamètre ou environ, pratiqué à la fenêtre. Un physicien du 16e siècle (2) remarqua le premier que les objets du dehors se dessinaient comme des ombres sur la muraille ou au plancher de sa chambre. Cet effet le surprit agréablement ; il l'étudia avec attention ; il le perfectionna et enseigna dès-lors les moyens de rendre cette représentation plus distincte, en mettant au trou de la fenêtre un verre lenticulaire, dont le foyer soit à la distance de la muraille qui est au fond de la chambre, ou d'un carton blanc qu'on approche davantage.

» Depuis ce temps-là on a rendu cette expérience por-

(1) Pour faire cette expérience à coup sûr, il faut avoir marqué auparavant sur le tuyau les degrés d'enfoncement qu'il doit avoir, selon le plus ou moins de convexité et de concavité des verres qu'on doit placer devant.

(2) Jean-Baptiste Porta, dans sa magie naturelle, qui fut imprimée en 1560.

casuelles de l'instrument. On couvre d'un gros drap vert, doublé en dedans de taffetas noir, trois côtés entiers de la machine et une partie A E B du quatrième; en A B et aux parties inférieures des deux montans, on attache un rideau de quelque étoffe noire un peu épaisse, dont on puisse se couvrir la tête et les épaules. Il faut aussi que le drap des trois autres côtés déborde de deux ou trois doigts par en bas.

» Pour faire usage de cette machine, on la pose sur une table bien droite et couverte d'une grande feuille de papier blanc, dans un lieu sombre et qui soit un peu élevé; on prend le temps où les objets sont bien éclairés; on s'assied ayant le dos tourné vers eux, et l'on avance un peu sa tête sous le rideau, ayant soin qu'il n'entre pas d'autre jour que celui qui vient par l'objectif; voyez la *fig.* 83. La machine étant pliée, le drap et le rideau se tournent autour des montans, et le tout se met dans un sac de toile long et étroit, ce qui la met en état d'être transportée fort aisément.

» On voit par la seule inspection de la *fig.* 82, que les rayons de lumière partant de différens points de l'objet, vont frapper le miroir, et qu'après s'être croisés dans l'objectif, ils vont dessiner l'image sur la table, dans une situation droite, pour la personne qui regarde par le côté A B de la pyramide. Cette espèce de chambre noire pourrait servir pour voir ce qui se passe au-dehors d'une place assiégée, sans exposer sa tête; car rien n'empêche que la table sur laquelle on la pose ne soit derrière un rempart, et que la pièce qui porte le miroir ne s'élève au-dessus.

Polémoscopes. » On appelle ainsi les instrumens, soit de dioptrique, soit de catoptrique, par le moyen desquels on peut voir sans être vu. Ordinairement la partie principale est un miroir incliné qui renvoie l'image de l'objet au spectateur qui ne peut le voir en droite ligne. Un homme sédentaire et curieux, du milieu de sa chambre et sans quitter son bureau, un malade assis sur son lit, se procure la vue de ce qui se passe dans une longue rue ou dans une place

publique, par le moyen d'une glace placée au côté d'une fenêtre, avec une inclinaison convenable; un pareil miroir incliné à l'horizon et qui s'avance un peu hors de la fenêtre, met un homme d'étude en état de se soustraire aux visites importunes, en lui faisant connaître ceux qui heurtent à la porte de sa maison.

» Quand on veut un polémoscope portatif, on incline la glace de 45 dégrés au fond d'une boîte dont le devant reste tout-à-fait ouvert; et l'on fait au côté de cette boîte sur lequel la glace est inclinée, un trou de 2 pouces de diamètre ou environ, pour recevoir un tuyau de la longueur qu'on le veut avoir. Voyez dans la *fig.* 84, comment les rayons réfléchis par le miroir vont porter l'image de l'objet à l'œil qu'on suppose au bout du tuyau.

» Avec cet instrument, l'on peut voir par-dessus la muraille d'une ville, d'un jardin, même dans une chambre voisine et placée sur la même ligne de celle où l'on est, pourvu que la fenêtre en soit ouverte et qu'il y ait assez de lumière. Il y a des gens qui portent de ces instrumens dans leur poche, en forme de lorgnette d'opéra, et qui regardent tout à leur aise les personnes qui sont à côté d'eux, dans le temps qu'on les croit occupés de ce qui se passe au loin et devant eux: ils cachent par ce petit stratagême une curiosité qui passerait souvent pour une indiscrétion et une impolitesse.

Curiosités, Perspectives ou Optiques. » On donne communément tous ces noms à certaines boîtes dans lesquelles des objets convenablement éclairés se font voir sous des images amplifiées et dans l'éloignement, par le moyen des miroirs et de quelques verres convexes: la construction de ces machines se varie de tant de manières, que je ne puis ni ne dois parler ici de toutes celles qui sont connues; je ferai mention de deux ou trois, et je supposerai des objets fort simples, afin que l'on comprenne mieux les effets.

» On se souviendra, qu'en expliquant les propriétés du miroir sphérique concave, j'ai fait remarquer que quand l'objet est placé plus loin de la surface réfléchissante que le

foyer des rayons parallèles, son image se trouve renversée et devant le miroir. En conséquence de cela, on se procure un joli spectacle, si l'on met un tableau qui représente un paysage devant un de ces miroirs, et qu'en s'éloignant un peu, on regarde par-dessus dans le miroir : il faut, pour bien faire, que le tableau soit fort éclairé et que le miroir soit dans l'obscurité : ceux qu'on fait en Angleterre avec des glaces courbées et mises au tain, rendent ces représentations plus vives et plus nettes que ceux de métal, parce qu'ils réfléchissent mieux la lumière et qu'ils sont moins sujets à se ternir.

» Ces illusions se multiplient agréablement quand on se sert d'une boîte longue représentée par la *fig.* 85, dont le dessus n'est qu'une gaze ou un taffetas blanc et très-mince, pour laisser passer beaucoup de lumière ; l'un des petits côtés A B porte un miroir concave dont le foyer est à la distance F ; et sur l'autre en dedans, on glisse successivement des cartons peints qui représentent des édifices, des jardins et d'autres objets semblables : on place l'œil vis-à-vis d'un trou qui est percé à jour dans le même côté de la boîte, un peu au-dessus des cartons.

» Si les deux grands côtés d'une pareille boîte sont ornés de peintures, telles que celles dont je viens de parler, que sur le fond il y ait des petites figures isolées de bois, d'émail ou de carton, en repos ou en mouvement, et que les deux petits côtés soient couverts de deux miroirs plans ; en regardant simplement par le trou D, on verra tous ces objets multipliés presque à l'infini et dans un grand éloignement, pour les raisons que j'ai déduites, en expliquant les effets des miroirs plans ; et ce petit spectacle deviendra encore plus divertissant si l'on met au trou un verre lenticulaire dont le foyer soit à peu près au milieu de la longueur de la boîte, car ce verre ne manquera pas d'amplifier les images et les distances.

» On donne encore à ces sortes de boîtes la forme d'une tour carrée, *fig.* 86, au haut de laquelle il y a un miroir

incliné comme C E : les images de tous les objets rangés dans la longueur de la boîte sont renvoyées par le miroir à l'œil, qui les aperçoit dans la direction horizontale F G. Le côté opposé à F H est celui qui est couvert de gaze ou de taffetas, et que l'on tourne du côté du jour. Le petit tuyau F porte aussi un verre lenticulaire, pour faire paraître le lieu et les objets plus grands.

Télescopes et Lunettes d'approche. » Ce sont des tuyaux dans lesquels des verres ou des miroirs (quelquefois les uns et les autres) combinés d'une certaine manière, nous font apercevoir distinctement des objets trop éloignés pour la vue simple. On les nomme *télescopes*, parce que le premier et le plus important usage qu'on en ait fait a été d'examiner les astres connus et d'en découvrir d'autres qui ne l'étaient pas. Quand on s'en sert pour les objets terrestres, le vulgaire les appelle lunettes *d'approche*, parce que ces instrumens semblent diminuer la distance qui est entre l'objet et le spectateur.

» L'invention des télescopes a été d'un grand secours pour les progrès de l'astronomie; c'est de cette époque qu'il faut dater les plus belles découvertes qui ont été faites dans cette science par Képler, Galilée, Huyghens, Dominique Cassini, Halley, Roëmer, Bradley, etc. Avant ce temps-là, on ne connaissait ni ce qu'on appelle montagnes, vallées et mers dans la lune, ni les taches du soleil, ni les satellites de Jupiter : on ignorait pareillement ceux de Saturne et son anneau, les phases de Vénus, le diamètre des autres planettes, leurs rotations sur leurs axes, la durée de ces révolutions, et toutes les conséquences qu'on est en droit de tirer de tous ces faits bien constatés.

» Aussi plusieurs nations se disputent-elles l'honneur d'avoir inventé les télescopes. Guillaume Molineux et Samuël son fils le revendiquent pour l'Angleterre, en attribuant cette invention à Roger Bacon; mais M. Smith prouve assez bien, par la manière même dont ce religieux s'est énoncé, qu'il n'a fait que prévoir, tout au plus, ce qu'on pourrait faire par le moyen des verres lenticulaires, et qu'il n'a jamais fait

sur cela aucune épreuve à laquelle on puisse rapporter la découverte dont il s'agit.

» M. Huyghens croit que c'est un effet du hasard, mais il le fait naître dans sa patrie : « Quelques-uns, dit-il, attri-« buent la première invention du télescope à Jacques Métius, « habitant d'Alcmaër; mais je suis certain qu'un ouvrier en « avait fait avant lui à Middelbourg en Zélande vers l'an 1609. « Il se nommait Jean Lippersheim selon Sirturus, et Zacharie « selon Borelli (1), etc. ». Ce qu'il y a de certain, c'est que les premiers télescopes ont été composés de deux verres, dont l'un était convexe et l'autre concave, et que ceux de cette espèce se nomment encore aujourd'hui *télescopes Hollandais.*

» Ces premiers instrumens, production du hasard et d'une industrie peu éclairée, n'eussent jamais été d'une grande utilité, si l'on eût abandonné le soin de les perfectionner aux artistes qui en avaient fait la découverte ; mais dès qu'ils furent connus, les savans s'en emparèrent : entre les mains de Galilée, de Képler et de M. Huyghens, leur construction fut réglée suivant les principes bien entendus et bien médités dans la dioptrique, et le célèbre Campani (2) y ajouta l'exécution la plus heureuse et la plus régulière.

» Le télescope de Galilée, le même que celui des Hollandais, à cela près qu'il est construit dans de meilleures proportions, est composé de deux verres, dont l'un qui est convexe se nomme *objectif*, parce qu'il est placé au bout du tuyau qu'on tourne vers l'objet ; l'autre qui est concave s'appelle *oculaire*, parce qu'il est à l'autre bout où se présente l'œil de l'observateur : voici, autant qu'on le peut représenter dans une petite figure, quelle est la marche des rayons dans cet instrument, et comment il amplifie l'image de l'objet.

» Il faut supposer que l'objet A B, *fig.* 87, est tellement éloigné, que les jets de lumière qui viennent de chaque point

(1) M. Muschenbrock rapporte cette découverte à l'année 1590, et l'attribue à Zacharie Jansze et Jean Lippersheim, habitans de Middelbourg en Zélande, *Essai de physique*, *pag.* 598.

(2) Artiste de Rome très-habile et très-instruit.

de sa surface tomber sur l'objectif, comme A C, B C, sont composés de rayons, non sensiblement divergens comme dans la figure, mais presque parallèles entr'eux. Ces jets cylindriques ou à peu près, en traversant le verre convexe, se convertissent en autant de pyramides qui formeraient par leurs pointes l'image renversée *a b* de l'objet, sans l'interposition de l'oculaire D, lequel étant concave, rend presque parallèles entr'eux les rayons de chaque pyramide. Ainsi, chacun de ces jets ou pinceaux entrant dans le cristallin de l'œil E, comme s'il venait d'un lieu éloigné, ne s'y rompt qu'autant qu'il le faut, pour former une pointe au fond de l'organe FG; et par ce moyen il s'y dessine une image distincte et renversée, comme elle le serait à la vue simple : c'est pourquoi cette espèce de télescope fait voir les objets dans leur situation naturelle et sous un plus grand angle, ce qui augmente leur grandeur apparente.

» Ce télescope ne pouvant avoir qu'une longueur très-limitée (1), ne peut pas grossir beaucoup; d'ailleurs il a peu de champ, c'est-à-dire que l'œil qui s'en sert ne peut embrasser que très-peu d'objets d'un seul aspect, parce que les faisceaux de lumière qui sortent de l'oculaire étant peu convergens, la prunelle ne peut pas comprendre en même temps ceux qui viennent des extrémités d'un grand objet.

» On trouve dans la dioptrique de Képler, qui fut imprimée en 1611, la description d'un télescope qui fut dès-lors qualifié d'*astronomique*, parce qu'il est bien meilleur que le précédent pour observer le ciel; il est composé de deux verres convexes placés aux deux extrémités d'un tuyau, de manière que leurs foyers coïncident au même endroit; ainsi la longueur totale de l'instrument résulte de celles des deux foyers C F, D F, prises en somme, *fig.* 88.

» Les jets de lumière A C, B C, qu'on suppose venir de fort loin, et qui par conséquent sont composés de rayons presque parallèles, en passant par le verre objectif C, se

(1) Les plus grandes lunettes de cette espèce n'ont que 15 ou 18 pouces.

convertissent en autant de pyramides, dont toutes les pointes dessinent l'image de l'objet à la distance F, où est le foyer du verre. Mais ces rayons se croisant deviennent divergens ; s'ils tombent sur un verre lenticulaire D, dont le foyer soit à la distance de E, où commence leur divergence, ils deviennent parallèles entr'eux, en même temps que les jets qu'ils composent tendent à se réunir dans l'œil qui est placé en E.

» L'objet paraît donc sous l'angle G E H, beaucoup plus grand que ne serait A E B, par la vue simple ; et l'image est droite au fond de l'œil, puisque c'est celle qui est renversée en F qui devient l'objet immédiat de la vision ; par conséquent le véritable objet A B doit paraître le haut en bas.

» Ce dernier effet est un inconvénient par-dessus lequel on passe quand on n'a, comme les astronomes, que des corps ronds à observer, et que l'on cherche comme eux à conserver à l'instrument toute la clarté dont il est susceptible ; mais pour voir sur la terre, cela est incommode ; on aime à voir les objets dans leurs situations naturelles. On se procure cet avantage en ajoutant deux oculaires convexes au premier ; car par la seule inspection de la *fig.* 89, on voit que, si au lieu de placer l'œil en E pour recevoir les faisceaux de rayons parallèles qui viennent s'y rendre, on les laisse se croiser, et qu'on les reçoive ensuite sur un second oculaire K, de parallèles qu'ils sont, ils deviennent convergens et forment une seconde image, mais en sens contraire de la première qui est en F. Après quoi, s'ils passent à un autre oculaire L, ce verre qui les reçoit divergens de la distance *f* où est son foyer, leur rend le parallélisme qu'ils avaient avant que d'entrer dans le verre K, et les jets qui en résultent vont de part et d'autre à l'œil placé en M, dans le même ordre qu'ils ont en E, en sortant du télescope astronomique. Mais comme c'est la seconde image *a f b* qui est ici l'objet immédiat de la vision, et que cette image est en sens contraire de la première *b f a*, ou plutôt dans le même sens que l'objet réel, elle doit être aperçue comme on le voit lui-même à la vue simple.

» Dans ces télescopes, tant à deux qu'à quatre verres convexes, la grandeur du champ dépend de la largeur de l'oculaire; car comme les rayons de lumière qui viennent des extrémités opposées de l'objet se croisent dans l'objectif, il est aisé de concevoir que plus l'oculaire est large, plus il embrasse de ces rayons, qui s'écartent les uns des autres après leurs croisemens. Cependant on ne laisse pas aux oculaires toute la largeur qu'ils pourraient avoir, parce que la lumière qui passe trop près des bords ne s'y réfracte pas aussi régulièrement que vers le milieu. Quant à la quantité dont ces instrumens grossissent les objets, on peut prendre ceci pour règle : la grandeur apparente par le télescope est à la grandeur apparente à la vue simple, comme la distance C F est à la distance D F; c'est-à-dire que si le foyer de l'objectif est 30 fois plus long que celui de l'oculaire, le diamètre de l'objet vu par la lunette paraîtra 30 fois plus grand qu'à la vue simple.

» Les télescopes de réfraction, pour grossir beaucoup, doivent être fort longs, ce qui les rend embarrassans et difficiles à manier; ils ont encore un autre défaut, c'est que les images qu'ils amplifient à un certain point manquent de clarté et de netteté : on attribua d'abord cette dernière imperfection à des causes qui n'y avaient pas grande part, et les moyens dont on convint pour y remédier n'auraient pas réussi quand ils eussent été praticables.

» Ces considérations firent naître l'idée d'employer des miroirs au lieu des verres pour former les images des objets; ce moyen paraissait plus sûr en ce que les rayons de lumière, de quelque espèce qu'ils soient, font toujours leur angle de réflexion égal à celui de leur incidence; un autre avantage qui ne paraissait pas moins réel et qui était très-important, c'est qu'il était évident que ces nouveaux instrumens, pour grossir autant que les télescopes de dioptrique, n'auraient pas besoin d'être aussi longs. Jacques Grégory d'Aberdéen produisit le premier télescope de réflexion en 1663; peu de temps après, Newton en fit un d'une construction diffé-

rente, dont on trouve la description dans les Transact. philos. n° 80, et dans son Optique vers la fin de la 1re partie du 1er livre.

» Quoique le télescope de Newton n'ait été publié qu'après celui de Grégory, il paraît cependant que ce dernier n'a pas été aussitôt en usage, soit par des retardemens d'exécution, soit qu'on le trouvât moins parfait; ce ne fut guère que vers l'année 1726 que les ouvriers commencèrent à en débiter à Londres, après qu'il eût été perfectionné par M. Hadley.

» Le télescope Newtonien est composé d'un large tuyau DDDD, *fig.* 90, au fond duquel est fixé un miroir concave de métal G H, dont le foyer est vers l'autre bout qui est ouvert. Entre ce miroir concave et son foyer est un autre miroir de métal I K, plan, beaucoup plus petit que le premier, de figure ovale, incliné de 45 dégrés à l'axe du tuyau, et porté par une tige avec laquelle il se meut en avançant et reculant suivant la longueur du tuyau. Vis-à-vis de ce petit miroir, le tuyau est percé d'un trou rond pour recevoir un autre petit tuyau L L, garni d'une ou de plusieurs lentilles. La place de l'œil est en O, où il y a une ouverture d'une ligne de diamètre tout au plus. Voici quelle est la marche de la lumière dans cet instrument.

» Il faut supposer que A G, B H, sont deux faisceaux de rayons parallèles ou très-peu divergens, qui viennent des deux extrémités opposées d'un objet fort éloigné, et qui se sont croisés avant que d'entrer dans le télescope, de sorte que A G vient de la partie supérieure, et B H de la partie inférieure de cet objet. Dès que ces jets de lumière tombent sur les parties G H du miroir concave, les rayons qui les composent, de parallèles qu'ils sont ou à peu près, deviennent convergens au foyer F, comme on l'a vu dans la catoptrique; et il se formerait en cet endroit une image renversée de l'objet, sans l'interposition du petit miroir I K qui arrête et réfléchit ces pyramides de lumière vers le trou latéral LL, d'où il arrive que l'image est transposée en *c d* sans aucun autre changement, attendu que le petit miroir est plan.

» De l'endroit où se forme l'image, les rayons de chaque faisceau recommencent à diverger entr'eux : en passant ensuite par la lentille L L dont le foyer est à la distance *c d*, ils redeviennent parallèles ; et les jets cylindriques qu'ils forment s'avancent en convergeant vers l'œil qui aperçoit l'image de l'objet sous l'angle L O L, et par conséquent beaucoup plus grande qu'à la vue simple, mais dans une situation renversée. On peut la redresser en mettant dans le petit tuyau trois lentilles au lieu d'une, comme dans les télescopes de dioptrique.

» Afin qu'on puisse employer dans le tuyau LL des lentilles de différens foyers, ce tuyau et le petit miroir s'avancent et se reculent ensemble, suivant la longueur du télescope ; par ce moyen, l'image *c d* s'approche ou s'éloigne de la lentille L L. Et comme on est obligé de regarder de côté pour diriger avec plus de facilité l'instrument vers l'objet, on y joint ordinairement une lunette composée de deux verres, dont l'axe est parallèle à celui du télescope. Le tout est porté sur un pied qui se hausse et se baisse à volonté, et le corps de l'instrument est soutenu par deux pivots fixés au milieu de sa longueur, et sur lesquels il tourne pour s'incliner autant qu'on le veut. Voyez la *fig.* 91.

» Le télescope Grégorien, tel qu'il est aujourd'hui, est aussi composé d'un gros tuyau D D D D, *fig.* 92, au fond duquel est un miroir concave de métal G H percé au milieu. Vers l'autre bout est un second miroir de métal I K plus concave que le premier, dont le diamètre est un peu plus grand que celui du trou qui est au milieu du grand miroir ; il est porté par une tige qui tient au tuyau, et avec laquelle il peut s'avancer et se reculer dans une coulisse pratiquée à cet effet. Le trou du grand miroir répond à un petit tuyau dans lequel il y a un verre plan convexe L *l*, et un autre M *m* qui est taillé en ménisque ou en lentille ; et l'ouverture du côté de l'œil en O est un très-petit trou rond.

» Pour entendre comment les images se forment dans cet instrument, il faut encore supposer, comme on l'a fait ci-dessus pour le télescope Newtonien, que A G, B H, sont

des faisceaux de rayons qui viennent des extrémités opposées d'un objet très-éloigné, et qui se sont croisés avant que d'entrer dans le télescope. Les rayons presque parallèles qui composent chacun de ces jets de lumière étant réfléchis par le miroir concave G H, deviennent convergens et font une image distincte et renversée à la distance *a b*, où est le foyer des rayons parallèles; ensuite ils deviennent divergens et s'avancent en cet état jusqu'au petit miroir I K qui, ayant son foyer un peu plus loin que la distance *a b*, d'où ces rayons commencent à diverger, les rend un peu convergens après la réflexion, tellement que, s'ils ne rencontraient rien dans le petit tuyau, ils iraient former une image bien au-delà de la distance L *l*; mais pour rendre l'instrument plus court, on les reçoit là, sur un verre plan convexe qui augmente leur convergence et qui les réunit à la distance *c d* où se forme l'image; ensuite, lorsqu'ils sont devenus divergens, on les fait passer par un autre verre qui a son foyer à la distance *c d*, ce qui fait qu'ils sont émergens par des lignes parallèles, et que les faisceaux qu'ils composent se dirigent de part et d'autre vers O où est l'œil, et lui font voir l'image sous l'angle *n* O *p*.

» Le tuyau est monté sur un genou qui tient à un support, au moyen de quoi il a tous les mouvemens imaginables. Pour faire approcher le petit miroir du grand, ou pour l'en éloigner, il y a une verge de métal qui tourne dans deux ou trois collets placés sur la longueur du tuyau, et dont un bout qui est taillé en vis enfile l'extrémité de la tige qui porte le petit miroir; cette verge est garnie à son autre bout d'une tête que l'on tient à la main pour la faire tourner d'un côté ou de l'autre, jusqu'à ce qu'on aperçoive l'image de l'objet bien distinctement. Ce mouvement du petit miroir est nécessaire, car quand l'objet qu'on regarde est plus éloigné, l'image s'écarte des oculaires; et quand il est plus près, c'est tout le contraire : comme ces oculaires sont fixes, il faut que le petit miroir s'avance ou se recule pour entretenir l'image toujours à la même distance de ces verres. C'est pour la même

raison que dans les lunettes de dioptrique le tuyau des oculaires doit se tirer davantage pour les objets qui sont les moins éloignés.

» Le télescope Grégorien que je viens de décrire fait voir l'objet droit, puisque la dernière image *c d* que l'œil reçoit est dans la même situation que A B. Il est un peu moins clair que celui de Newton, parce qu'il y a deux verres, et que la lumière souffre d'autant plus de déchet, qu'elle a plus d'épaisseur à traverser. Mais à grandeurs égales, il grossit davantage; et bien des gens le préfèrent, parce qu'on place l'œil au bout, comme dans les lunettes de dioptrique. Voyez la *fig.* 93, qui représente un de ces instrumens qui a 15 pouces de longueur; c'est celui qui est le plus en usage maintenant pour les objets terrestres.

Microscopes simples et composés. » On appelle *microscopes*, tous les instrumens qui nous font distinguer les objets imperceptibles à la vue simple; ils nous aident à regarder de près, comme les télescopes pour regarder au loin : autant ceux-ci facilitent les progrès de l'astronomie, autant ceux-là sont avantageux à la physique et à l'histoire naturelle; sans eux nous serions privés d'une infinité de découvertes et de connaissances utiles par lesquelles se sont illustrés les Borelli, les Hook, les Malpighi, les Lewenhoek, les Réaumur et tant d'autres grands hommes, à qui ces nouveaux organes ont dévoilé les secrets de la nature.

» Les microscopes sont ou simples ou composés. Les premiers sont faits d'un petit corps transparent, de figure sphérique ou lenticulaire, et ordinairement ce petit corps est du verre. Les autres sont des assemblages de plusieurs verres, par la combinaison et l'arrangement desquels les images des objets sont amplifiées et présentées d'une manière commode à l'œil de l'observateur.

» Si l'on veut considérer comme microscope tout ce qui augmente la grandeur apparente des corps qu'on regarde, il faut rapporter l'invention du *microscope simple* au temps

où l'on a commencé l'effet des verres lenticulaires, et c'est remonter au-delà de 400 ans; mais comme ce nom tient pour le moins autant à l'usage qu'on a fait de cette espèce de verre, qu'à sa figure et à la propriété qui en résulte, je ne pense pas que cet instrument ait été connu comme tel avant le commencement du dernier siècle; car il me semble qu'on ne voit point d'observations microscopiques qui ne soient postérieures à ce temps-là (1). Quant aux *microscopes composés*, M. Hüyghens dit avoir appris de témoins oculaires que Drebbel, son compatriote, en faisait à Londres en 1621. Fontana, dans un ouvrage qu'il fit paraître en 1646, prétend avoir fait de ces instrumens dès 1618; il ne paraît pas que personne en ait fait auparavant.

» C'est un fait, que plus les lentilles transparentes sont petites et convexes, plus elles ont de force pour grossir les objets; voilà pourquoi un globule de verre fondu au bout d'une aiguille à la bougie, ou une goutte d'eau enchâssée dans un trou rond que l'on fait dans une petite lame de plomb, fait un assez bon microscope : on en comprendra la raison en examinant ce qui se passe quand on regarde un petit corps au travers d'une plus grande lentille, et l'on sera peut-être bien surpris de voir que ce globule de verre et cette goutte d'eau ne sont pas microscopes, en tant qu'ils amplifient l'image de l'objet, mais seulement parce qu'ils la font voir plus clairement, et que le même objet vu par le même trou vide et à la même distance, paraît aussi grand que quand on le regarde à travers la goutte d'eau ou à travers le globule de verre.

» Supposons l'œil placé en C, *fig.* 94, vis-à-vis et tout près d'un très-petit trou percé à jour dans une lame de métal D D, et qu'il regarde par-là un objet placé à une petite distance, il le verra distinctement, parce que, comme le trou est fort petit, l'œil ne peut recevoir de chaque point

(1) François Stelluti publia en 1625 la description des parties des abeilles, qu'il avait examinées avec une loupe de verre.

visible de l'objet qu'un rayon simple, pour ainsi dire, et non pas comme d'ordinaire, un faisceau de rayons divergens qui aient besoin d'un certain dégré de réfraction pour se réunir justement sur la rétine ; l'impression d'un seul rayon est toujours distincte. La grandeur apparente de l'objet sera aussi beaucoup plus grande, car il sera aperçu sous l'angle A C B beaucoup plus grand que E C F, qu'on suppose être celui sous lequel ce même objet pourrait être vu distinctement par le même œil, sans l'interposition de la lame trouée ; de sorte que si la distance de l'objet à l'œil qui regarde par le petit trou est cent fois plus petite que celle à laquelle il faut placer le même objet pour le voir distinctement à vue découverte et libre, on peut dire que l'objet paraît alors cent fois plus grand qu'on ne le voit ordinairement.

» Mais, qu'arrivera-t-il de plus, si, au lieu de ce petit trou, nous supposons une lentille de verre *d d* qui ait son foyer à la distance *a b* égale à A B ? Les rayons simples *a c*, *b c*, passeront de même à l'œil en traversant le verre, et l'angle visuel sera toujours *a c b*, comme auparavant ; c'est-à-dire, qu'on verra l'objet de la même grandeur que par le petit trou ; mais son image dans l'œil, sans être plus distincte, sera plus claire, parce qu'elle sera formée, non seulement par les rayons simples *a c*, *b c*, etc., mais encore par des rayons collatéraux qui, divergeant des mêmes points *a*, *b*, etc., se réfracteront dans la lentille et en sortiront du côté de l'œil par des lignes parallèles aux premiers *a c*, *b c*.

» C'est par cette dernière raison que les microscopes simples font mieux qu'un petit trou à jour ; mais leur pouvoir d'amplifier vient essentiellement de ce que par leur moyen on peut voir distinctement à une très-petite distance de l'œil. Si l'on veut donc savoir combien de fois grossit une lentille, il n'y a qu'à comparer la longueur de son foyer avec la distance à laquelle on verrait distinctement l'objet à la vue simple ; si ces deux quantités, par exemple, sont comme $\frac{1}{2}$ ligne est à 8 pouces, on peut dire que la lentille grossit 192 fois, parce qu'une $\frac{1}{2}$ ligne est $\frac{1}{192}$ de 8 pouces.

» Le microscope simple ne grossissant donc l'apparence des objets qu'autant qu'ils sont extrêmement près de lui et qu'il est lui-même tout contre l'œil, son usage est par-là très-incommode et même impraticable dans beaucoup d'occasions, parce qu'il y a quantité d'objets auxquels on ne peut pas l'appliquer, et qu'il est toujours très-difficile d'éclairer suffisamment ceux qu'on veut examiner avec cet instrument. Ces inconvéniens ont fait imaginer les microscopes composés, dont le principal mérite est de faire presqu'autant d'effet que le microscope simple, avec des lentilles d'un foyer plus long, ce qui les rend d'un usage plus étendu et plus facile, sans compter qu'avec ces instrumens on découvre d'un seul coup-d'œil un plus grand nombre de points visibles.

» Je n'examinerai point quelle est la meilleure combinaison de verres qu'on puisse employer dans la composition du microscope, ni la grandeur de ces verres, ni leurs distances respectives; il me suffira de suivre ici à l'aide d'une figure la marche des rayons de la lumière dans un microscope à trois verres; c'est celui qui est aujourd'hui le plus en usage.

» Soit donc un objet A B, *fig.* 95, placé un peu plus loin que le foyer de la lentille *c*, et suffisamment éclairé; les rayons divergens qui partent de tous les points visibles, comme A *d*, A *e*, ou B *d*, B *e*, et qui couvrent toute la surface antérieure de la lentille, après avoir souffert les réfractions ordinaires, deviennent émergens, par des lignes un peu convergentes *e f*, *d g*; de sorte que si rien ne les arrêtait, ces faisceaux de rayons réunis formeraient une image renversée à la distance E.

» Mais ces jets de lumière étant reçus par la lentille D, de divergens qu'ils étaient, deviennent convergens entr'eux; et les rayons qui les composent, devenant plus convergens qu'ils ne l'étaient, se croisent et forment à peu de distance de là l'image renversée *a b*.

Cette image étant au foyer d'une troisième lentille F, les rayons divergens qui partent des points *a*, *b*, etc.; en passant par ce verre, se disposent parallèlement entr'eux, forment des jets qui tendent à se réunir en O où se place l'œil, et font

voir l'image *a b*, sous l'angle *k* O *h*, sans comparaison plus grand que A O B, qui est celui de la vue simple.

» Les plus grands avantages qu'on puisse procurer à ces instrumens sont d'être applicables à toutes sortes d'objets, d'être bien éclairés et de pouvoir être maniés commodément. Il serait impossible et superflu de dire ici tout ce qu'on a tenté jusqu'à présent pour remplir ces conditions : chacun a varié la monture du microscope suivant son génie et ses vues ; la plupart des artistes, pour en augmenter le prix, l'ont chargé de tant de superfluités et d'ornemens déplacés, qu'il faut, pour s'en servir, une étude particulière que peu de gens veulent se donner la peine de faire. Voici ce que j'y trouve d'essentiel.

» Pour comprendre toute sorte d'objets, il faut que le microscope puisse s'appliquer également à ceux qui sont transparens et à ceux qui sont opaques. Il est donc à propos pour les premiers que l'instrument puisse se tenir dans une situation à peu près horizontale, afin que le jour y entre comme dans une lunette ; ou, ce qui est encore mieux, qu'il y ait à quelque distance sous la lentille objective un miroir qui s'incline à volonté, pour prendre la lumière du jour ou d'une bougie, et la réfléchir sous l'objet qu'on observe. Quant aux corps opaques, on les illumine en rassemblant la lumière dessus par le moyen d'un miroir ou d'un verre lenticulaire disposé convenablement pour cet effet.

» La plus grande difficulté qui se rencontre dans l'usage du microscope, c'est de placer l'objet à la distance précise à laquelle il convient qu'il soit de la lentille objective ; il faut que cela se fasse par des mouvemens très-aisés à mesurer, surtout quand le verre est d'un foyer fort court ; et c'est en quoi la plupart des artistes réussissent le moins, ou le plus souvent cet avantage est compensé par des défauts qui en diminuent bien le mérite. Ce qui s'est pratiqué de mieux jusqu'à présent, ce sont des vis bien faites qui font descendre et glisser également le corps du microscope le long de son portant. Voyez *fig.* 96.

» Un microscope qui n'aurait qu'une lentille objective ne pourrait servir qu'à des objets d'une certaine grandeur ; il faut qu'il y en ait plusieurs de différentes forces qu'on puisse placer successivement au bout du tuyau ; mais je trouve aussi qu'il est inutile d'en avoir un aussi grand nombre, trois ou quatre suffisent pour l'observateur le plus exact et le plus occupé.

Lanterne magique et microscope soluire. » La lanterne magique est un de ces instrumens qu'une trop grande célébrité a presque rendus ridicules aux yeux de bien des gens. On la promène dans les rues, on en divertit les enfans et le peuple ; cela prouve, avec le nom qu'elle porte, que ses effets sont curieux et surprenans : et parce que les trois quarts de ceux qui les voient ne sont pas en état d'en comprendre les causes, quand on les leur dirait, est-ce une raison pour se dispenser d'en instruire les personnes qui peuvent les entendre ? Si le grand Newton s'est occupé sérieusement à souffler des globes creux avec de l'eau chargée de savon, n'est-ce point une leçon qui nous apprend qu'aux yeux d'un philosophe rien ne doit paraître puéril, quand on en peut tirer des instructions ?

» Nous tenons la lanterne magique du Père Kirker, jésuite allemand, qui joignait à un grand savoir une sagacité singulière et un génie fort inventif. La propriété de cette machine est de faire paraître en grand, sur une muraille blanche ou sur une toile tendue dans un lieu obscur, des figures peintes en petit sur des morceaux de verre mince et avec des couleurs bien transparentes.

» Pour cet effet, on éclaire fortement par derrière le verre peint, qu'on peut appeler *porte-objets*, et l'on place par devant, à quelque distance l'un de l'autre, deux verres lenticulaires qui rassemblent sur la toile ou sur la muraille les rayons divergens qui partent de chaque point de l'objet, et qui laissent diverger entr'eux tous les faisceaux de lumière formés par ces rayons. Rendons ceci sensible par une figure.

» A B, *fig.* 97, est un miroir concave de métal ou de

glace. C est la flamme d'une très-grosse chandelle ou d'une lampe, placée un peu plus près du miroir que le foyer des rayons parallèles. D *d* est un verre convexe des deux côtés et plus large que le porte-objet E *e* qui est immédiatement après. A quelque distance de là est un verre lenticulaire G *g*; et un peu plus loin encore, un autre moins convexe H *h*, et un peu moins large.

» Ces deux derniers verres sont mobiles dans un gros tuyau, afin qu'on puisse les éloigner et les rapprocher l'un de l'autre, autant qu'il est nécessaire pour rendre l'image distincte sur la toile. Ce tuyau est attaché au-devant d'une boîte carrée dans laquelle on renferme le miroir, la lampe et le premier verre lenticulaire, de sorte qu'il ne passe de lumière dans la chambre que celle qui vient au travers du verre peint. Tout étant ainsi disposé, si la figure qui est peinte se trouve renversée, comme E *e*, elle paraît sur la muraille amplifiée et droite comme K L.

» On produit le même effet, et d'une manière beaucoup plus belle, en faisant tomber derrière le verre peint un rayon solaire, par le moyen d'un miroir placé en dehors d'une fenêtre; mais afin que cette lumière se distribue plus également, il faut mettre un morceau de papier huilé en place du verre convexe D qui doit être supprimé, ainsi que la lampe et le miroir concave.

» L'objet E *e* étant transparent et fortement illuminé par derrière, laisse passer dans la chambre, par tous les points visibles de sa surface, des faisceaux de rayons divergens, comme E M, *e m*, lesquels faisceaux sont inclinés entr'eux vers le verre lenticulaire G *g*. Ce verre produit deux effets : il augmente la convergence des faisceaux qui se croisent bientôt après, et il diminue jusqu'au parallélisme la divergence des rayons qui les composent. Enfin toute cette lumière passant encore à travers la lentille H *h*, les faisceaux continuent de diverger entr'eux, et les rayons dont ils sont formés se rassemblent dans les points K, L, etc., sur la muraille ou sur la toile; et comme ces faisceaux de lumière

se sont croisés entre les deux verres lenticulaires G *g*, H *h*, ils tracent l'image en sens contraire de l'objet d'où ils sont partis. Pour rendre l'image plus distincte, on met entre les deux verres G H, où les rayons se croisent, un anneau de bois ou de carton, dont l'ouverture est telle, qu'elle ne laisse passer que la lumière nécessaire et régulièrement réfractée par la lentille G. Voyez la *fig.* 98, qui représente toute la machine et son effet dans l'obscurité.

» Ordinairement les verres peints qui servent d'objets aux lanternes magiques sont des bandes qui ont 8 ou 10 pouces de longueur, et que l'on fait glisser par une coulisse pratiquée auprès du verre D *d*, à l'endroit où est attaché le tuyau qui porte les deux lentilles G *g*, H *h*, et ces bandes de verre sont simples. Mais dans un voyage que je fis en Hollande en 1736, M. Muschenbroek m'en fit avoir d'autres que je trouvai bien imaginés, en ce que les figures y ont des mouvemens qui semblent les animer. L'une est un moulin à vent dont les aîles tournent, l'autre est une femme qui fait la révérence en passant; dans une autre, c'est une mâchoire qui se meut, ou un cavalier qui ôte son chapeau et qui le remet, etc. On peut voir dans les Essais de physique de M. Muschenbroek comment toutes ces petites manœuvres s'exécutent; je dirai seulement en général, que cela se fait par le moyen de deux morceaux de verre, dont l'un, enchassé dans un morceau de planche percée à jour, porte une partie de la figure, et l'autre, placé par dessus et qui n'est chargé que de la partie mobile, se met en mouvement par le moyen d'un cordon ou d'une petite règle qui glisse dans une coulisse pratiquée dans l'épaisseur de la planche.

» En 1743, il nous vint de Londres un nouvel instrument d'optique sous le nom de *microscope solaire*, inventé peu de temps auparavant par M. Liéberkuyn de l'Académie royale des Sciences de Berlin; c'est, à proprement parler, une lanterne magique éclairée par la lumière du soleil, et dont le porte-objet, au lieu d'être peint, n'est qu'un petit morceau de verre blanc que l'on charge d'une goutte de

liqueur dans laquelle il y a des insectes, de quelques poussières, ou autres corpuscules transparens : il y a encore cette différence (qui n'est point essentielle), qu'au lieu des deux lentilles G, H, *fig.* 97, il n'y en a qu'une, d'un foyer fort court.

» Supposez donc une chambre bien fermée et bien obscure, qui ait une fenêtre au midi, ou à peu près ; qu'il y ait un trou au volet pour introduire un gros rayon de soleil par le moyen du miroir A B, *fig.* 99, placé en dehors ; qu'au trou de la fenêtre soit ajusté un tuyau garni d'une lentille de verre C, dont le foyer soit à 8 ou 9 pouces de distance. Le petit verre D qui porte l'objet étant placé dans ce jet de lumière vive, si l'on approche la lentille E de manière que le porte-objet soit un peu plus loin de son foyer, tout ce qui est dessus paraît prodigieusement amplifié sur une muraille ou sur une toile blanche élevée verticalement, à 10 ou 12 pieds de distance vers le fond de la chambre ; et ce qu'il y a de singulier, c'est que les images sont distinctes à toute sorte de distances de la lentille.

» Pour bien entendre la raison de cet effet, il faut savoir que la lentille E est couverte du côté de l'objet avec une petite lame de plomb mince qui n'a d'autre ouverture qu'un trou percé au milieu, comme celui que pourrait faire une épingle ; cela fait que les jets de lumière qui partent des différens points de l'objet et qui viennent se croiser dans ce petit trou restent dans toute leur longueur, comme des rayons simples et fort vifs : ils sont capables, par ces deux raisons, de tracer distinctement les images à différentes distances ; et parce qu'ils se sont croisés dans la lentille, ils peignent sur le haut de la toile ce qui est placé en bas sur le petit verre blanc qui porte les objets.

» Le microscope solaire est encore plus curieux et plus intéressant que la lanterne magique. Une puce écrasée sur le porte-objet se voit grosse comme un mouton ; les poussières de papillon ressemblent à des feuilles d'œillet ; un cheveu paraît gros comme un manche à balai ; et les plus

petits insectes qu'on puisse saisir avec la pointe d'une aiguille dans les eaux croupies, se présentent avec des formes et des variétés qu'on ne se lasse point d'admirer; mais rien n'est si beau que la circulation du sang, observée avec cet instrument dans le mésentère d'une petite grenouille, ou dans la queue d'un testard : on dirait voir une carte de géographie, dont toutes les rivières seraient animées par un écoulement réel.

» Mais comme l'objet est au foyer d'un verre convexe, il peut y être exposé à un dégré de chaleur qui le dessèche trop vîte ou qui le fasse périr; quand on craint cet accident, il faut couvrir une partie du verre lenticulaire, ou placer l'objet un peu plus près ou un peu plus loin que le vrai foyer.

» Dès les premières épreuves que je fis du microscope solaire, il me parut propre à étendre les progrès de l'histoire naturelle, par la facilité qu'il donne de voir en grand et de dessiner certaines parties des animaux et des végétaux, qui peuvent acquérir une transparence suffisante par la macération ou autrement. Mais cet instrument, tel qu'il m'est venu d'Angleterre, me laissait quelque chose à désirer : il n'était pas d'un usage commode pour toute sorte d'objets, et il était d'un prix assez haut pour faire craindre que tous ceux qui seraient en état de s'en servir utilement ne pussent l'acquérir sans s'incommoder. Je m'appliquai donc à en simplifier la construction et à la rendre telle cependant, qu'on pût examiner tout ce qu'on voudrait : celui qui est représenté par la *fig.* 100 a ce dernier avantage; et l'ouvrier qui les fait et qui les débite ne les vend que quarante-huit livres, argent de France (1).

» A B C, *fig.* 100, est une planche carrée dont chaque côté a 7 ou 8 pouces. Elle est percée aux quatre coins pour

(1) Je dois avertir ici que j'ai remarqué que ces instrumens, dont toutes les pièces sont de bois, perdent quelquefois la liberté de leurs mouvemens; il vaut mieux augmenter la dépense d'un tiers pour les rendre plus solides.

recevoir; quatre vis avec lesquelles on l'attache sur le volet de la fenêtre, où il y a un trou rond de 5 ou 6 pouces de diamètre.

» Au milieu de cette planche qui fait partie du volet, quand elle y est attachée, est un trou rond dans lequel tourne librement le tuyau D, qui porte à l'une de ses extrémités le cercle de bois plat E *e*.

» Ce cercle est percé au milieu pour recevoir un verre lenticulaire qui a près de 2 pouces de diamètre et 9 pouces de foyer; et sur les bords sont fixées deux règles de métal F *f*, qui portent en avant le miroir G *g*.

» Ce miroir, qui est en dehors de la fenêtre, et qui sert à jeter la lumière du soleil sur le verre lenticulaire dont je viens de parler, peut se tourner à droite ou à gauche avec le tuyau D, et s'incline plus ou moins quand on tire ou quand on pousse la petite lame H qui répond dans la chambre; de sorte que, par ces deux mouvemens, on peut toujours le présenter convenablement au soleil, pour faire tomber la lumière de cet astre dans la direction du tuyau D.

» K est un autre tuyau qui glisse dans le premier, et au bout duquel est fixée une petite platine de bois dur ou de buis, au centre de laquelle il y a un trou rond de $\frac{1}{4}$ à 5 lignes de diamètre, et au-dessous une espèce de pince plate dans laquelle s'engage le verre qui sert de porte-objet; de manière que ce que l'on a dessein de voir se trouve vis-à-vis du trou, et que le trou, lorsqu'on fait avancer le tuyau, se met lui-même au foyer du grand verre convexe.

» La platine de bois dont je viens de parler a une queue qui porte deux petits bouts de tuyau de cuivre qui font ressort, et dans lesquels glissent deux petites tiges d'acier, aux bouts desquelles est fixé le porte-lentille I. Ainsi, en appuyant doucement avec le doigt, on fait approcher la lentille de l'objet, autant qu'il est nécessaire pour voir

C, autant qu'on le veut, avec un morceau de bois dur tourné en cul de lampe, évidé comme un entonnoir, et garni au bout d'une petite platine de métal percée au milieu.

» Pour les expériences qui doivent se faire dans l'obscurité, ce tuyau mobile vaut beaucoup mieux qu'un simple trou à la fenêtre, parce qu'il empêche que la lumière réfléchie par les objets extérieurs ne se répande dans la chambre; ce qui peut affaiblir et même faire manquer les effets qu'on cherche à voir.

» Au rayon de lumière introduit dans la chambre par le tuyau dont je viens de parler, on oppose l'angle d'un prisme triangulaire D, *fig.* 102, formé d'un morceau de verre solide, dont les faces soient bien dressées et polies le plus parfaitement qu'il soit possible. Voyez la *fig.* 103.

» Pour rendre mes prismes d'un usage plus commode, et pour empêcher qu'ils ne se dépolissent lorsqu'on les pose sur des tables, je fais garnir les extrémités de deux emboîtures de cuivre, au milieu desquelles sont soudées des tiges EE, du même métal, qui sont comme l'axe du prisme prolongé de part et d'autre. Elles servent à le soutenir et à le faire tourner entre deux supports élevés perpendiculairement sur une règle FF, portée par une tige ronde qui se hausse et se baisse en glissant dans un pied, et qui s'arrête à telle hauteur qu'on veut par la pression d'une vis G. Au haut de cette tige est encore un mouvement de charnière H, semblable à celui de la tête d'un compas, au moyen duquel le prisme s'incline autant qu'on le veut.

» L'angle du prisme, par lequel on fait passer le rayon solaire, n'a point de grandeur déterminée pour le succès de l'expérience. Celui dont Newton s'est servi était presque équilatéral : on peut très-bien réussir avec des angles plus petits; cependant il est bon qu'ils ne soient pas au-dessous de 45 dégrés.

» Comme le verre est souvent défectueux, soit par les filandres, soit par les bouillons qu'il contient dans son

épaisseur, on doit demander aux ouvriers des prismes qui qui aient 5 à 6 pouces de longueur, avec des faces d'un bon pouce de largeur; afin d'y pouvoir choisir plus aisément des endroits d'une homogénéité convenable.

» Au défaut de prismes de verre solide, on en peut faire avec des lames de glace mince, bien dressées et jointes ensemble par le moyen de quelque mastic; on les remplit d'eau bien claire ou de quelque autre liqueur limpide dont il faut connaître le pouvoir réfractif.

» Lorsque le rayon solaire a traversé l'angle du prisme, on observe qu'au lieu de suivre sa première route, et d'aller former en I un cercle simplement lumineux, il se relève dans une situation à peu près horizontale, avec les circonstances suivantes :

» 1°. Ce rayon paraît dilaté en forme d'éventail, et fait sur un carton blanc K L, élevé verticalement à 16 ou 18 pieds de distance du prisme, une image longue (1) arrondie par en haut et par en bas, comprise d'un bout à l'autre entre deux lignes droites parallèles.

» 2°. La largeur de cette image égale le diamètre du cercle lumineux que le rayon solaire marquerait en I, s'il ne rencontrait pas le prisme; d'où l'on peut conclure que le rayon n'est dilaté que dans un sens.

» 3°. Cette lumière réfractée, à compter depuis le prisme jusqu'au carton, paraît par bandes diversement colorées; et l'image M N, qui en est formée, porte les mêmes couleurs dans l'ordre qui suit de bas en haut : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet.

(1) La longueur de l'image colorée dépend de la grandeur de l'angle du prisme, et de la distance que l'on met entre ce prisme et le carton sur lequel on reçoit la lumière réfractée; à 16 pieds du prisme, mesure de France, l'image a environ 9 pouces de haut, quand l'angle réfringent est de 64 dégrés, et que le rayon incident est autant incliné à l'une des faces que le rayon émergent l'est à l'autre; ce que l'on reconnaît, lorsqu'en faisant tourner le prisme sur son axe, l'image colorée cesse de monter pour commencer à descendre.

et prendre soin que ces trois pièces, savoir les deux planches et le second prisme, demeurent bien fixes, afin que tous les rayons qu'on veut éprouver aient toujours une incidence égale sur la face *s t*.

» On doit encore opposer à quelques pieds au-delà un carton blanc, comme *Y y*, pour recevoir les rayons qui auront été brisés par le premier prisme, et marquer exactement la place où chacun d'eux ira se rendre.

» En procédant de cette manière, on observe constamment que le rayon rouge s'élève au point *Z*, le jaune un peu plus haut, le bleu et le violet encore davantage.

» Il paraît donc évidemment par cette expérience que les rayons qui se sont le plus rompus, en passant par le premier prisme, sont aussi ceux qui souffrent les plus grandes réfractions en passant par le second. Ajoutons encore une preuve à celles que je viens de rapporter.

» 5°. Expérience. Prenez une bande de carton de la largeur de deux doigts et longue de 5 à 6 pouces; partagez-en la longueur en deux parties égales, par une ligne perpendiculaire aux deux côtés, comme A B, *fig.* 107. Collez sur l'une de ces deux moitiés A B C D, un morceau de drap teint en gros bleu, et couvrez l'autre avec du drap teint en écarlate, ou en cramoisi. Placez cette pièce sur le plancher d'une chambre à 5 ou 6 pieds de la fenêtre, de manière que le jour tombe bien dessus; puis, en vous reculant 8 ou 10 pieds plus loin, vers le fond de la chambre, regardez-la à travers l'angle d'un prisme, dont la longueur soit parallèle à celle du carton de deux couleurs, et l'un et l'autre encore parallèles à l'horizon et à la largeur de la fenêtre. Voyez la *fig.* 107.

» Si l'angle réfringent du prisme est tourné en haut, comme E, l'image du carton paraît élevée vers F, et la partie *a b c d*, qui est bleue, l'étant davantage, semble se séparer de l'autre *b*.

Explications. Pour bien concevoir les résultats de la 1re expérience; il faut considérer séparément les actions des masses

a d I et *c g* I, *fig.* 41, qui produisent la lumière réfractée. La première s'exerce avec une intensité *maximum* suivant une direction peu différente du prolongement du rayon incident ; la seconde s'exerce avec une intensité *maximum* suivant une direction voisine de la perpendiculaire, suivant *a h* par exemple. Dans l'espace compris entre *a k* et *a h*, les deux actions s'exercent simultanément, et vont en diminuant, suivant des lois qui nous sont inconnues ; mais nous pouvons faire voir par un exemple qu'elles peuvent être de nature à produire les phénomènes tels qu'on les observe ; nous en donnons un dans le tableau suivant :

Lignes d'émission.	suiv. *ak*	suiv. *aj.*	suiv. *al*	suiv. *am*	suiv. *an*	suiv. *ao*	suiv. *ap*	suiv. *aq*	suiv. *ar*	suiv. *as*	suiv. *at*	suiv. *au*
a b c d e f I	40	39	38	36	35	33	27	26	22	19	7	2
a g I	1	3	5	18	23	27	29	31	33	34	35	36
a b c d g	41	42	43	54	58	60	56	57	55	53	42	38

Dans la première ligne se trouvent des nombres qui pourraient représenter l'action de la masse *a b c d e f* I, suivant les directions indiquées au-dessus ; et dans la seconde, des nombres qui pourraient représenter l'action de la masse *a g* I, suivant les mêmes directions. Les actions définitives seraient alors représentées par les sommes contenues dans la troisième ligne. On voit que si une pareille loi existait, et si 50 représentait la plus petite action capable de produire de la lumière, les lignes *a m*, *a n*, *a o*, *a p*, *a q*, *a r*, *a s* et leurs intermédiaires seraient les seules dans lesquelles la transmission s'opérerait ; et comme les nombres de la troisième ligne qui se trouvent au-dessous de ces directions ne sont pas égaux, l'illumination aurait lieu à des profondeurs différentes, et dans ces diverses directions

» A trois ou quatre pieds du prisme, recevez les rayons réfractés perpendiculairement sur le milieu de la lentille IK, et ayez un carton blanc que vous leur opposerez à différentes distances de cette même lentille quand ils en seront sortis, et vous observerez ce qui suit :

» 1°. Les rayons, en passant par la lentille IK, prennent la forme de deux cônes opposés par leurs pointes. Si l'on présente le carton blanc depuis la lentille jusqu'au foyer L, l'image formée par la lumière va toujours en diminuant de grandeur, et demeure droite ; si l'on passe le foyer en continuant d'éloigner le carton, l'image devient de plus en plus grande, elle paraît renversée : dans l'un et dans l'autre cas, elle a toutes ses couleurs.

» 2°. Quand on arrête le carton justement en L, et qu'on tient sa surface bien perpendiculaire à l'axe du cône et de la lentille, on ne voit dessus qu'un petit cercle très-brillant et sans couleur, comme on le verrait au foyer de la même lentille exposée immédiatement aux rayons du soleil.

» 3°. Ce petit cercle perd une grande partie de son éclat et reçoit des couleurs, lorsqu'on intercepte, avec le bord d'une carte à jouer, le quart ou la moitié des rayons réfractés, soit avant, soit après la lentille ».

Quand le corps transparent est terminé par deux faces parallèles, la recompostion de la lumière se fait d'elle-même : chaque rayon lumineux qui le traverse en produit encore 7 autres qui prennent diverses directions dans son intérieur, et qui viennent émerger à 7 points différens ; mais, ce qu'il faut bien remarquer, leurs directions après leur sortie sont parallèles entr'elles, étant toutes parallèles au rayon incident. (*voy.* pag. 84). Il résulte de là que si on considère un rayon, rouge par exemple, dirigé suivant une ligne quelconque, il coïncidera, dans toute son étendue avec 6 rayons, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet, venant des 6 points consécutifs ; de sorte que son intensité sera presque la même que celle du rayon direct, et qu'il sera blanc. Il faut excepter cependant les rayons

extrêmes qui resteront colorés, mais qui n'occuperont qu'un espace trop petit pour être visibles.

On peut encore recomposer la lumière décomposée par un prisme, en la faisant passer à travers un second prisme de même matière, ayant un angle égal, et placé de manière que le sommet de l'un réponde à la base de l'autre, et que leurs faces soient parallèles : la déviation de chaque rayon produite par le premier prisme est détruite par le second qui agit en sens contraire, et les rayons redevenant parallèles se trouvent dans le même cas que les rayons qui ont traversé une plaque terminée par deux faces parallèles.

Tous les corps transparens ne produisent point les effets que nous venons de décrire ; il y en a qui, en réfractant la lumière, même celle qui vient directement du soleil, ne donnent qu'une seule couleur : une plaque de verre d'un rouge foncé ne donne que des rayons réfractés rouges, et alors les rayons émergens font voir rouges les objets qu'ils éclairent ; c'est ce qu'on observe très-bien encore dans une chambre dont les fenêtres sont fermées avec des rideaux de cette couleur. Vus par réflexion, ces mêmes corps paraissent souvent de la même couleur, mais quelquefois aussi leur couleur paraît différente, comme cela arrive quand on examine de la teinture de tournesol qui est bleue par réflexion et rouge par réfraction, ou quand on considère une lame d'or extrêmement mince qui paraît jaune par réflexion et d'un beau vert par réfraction : ceci ne doit pas nous étonner, car la direction du rayon réfracté n'étant pas en rapport avec celle du rayon réfléchi, l'action qui le produit, qui est d'ailleurs plus compliquée que celle à laquelle est dû le rayon réfléchi, peut n'être pas égale à celle-ci, et produire des effets différens : une illumination plus ou moins profonde.

Le phénomène de la réflexion sans la réfraction, que nous avons indiqué page 78, peut se produire à l'égard des rayons provenant de la décomposition de la lumière blanche, et, comme leurs indices de réfraction sont inégaux,

un grand nombre de fois à des intervalles plus ou moins rapprochés, il est évident que la loi de la nature peut être telle que les raies en résultent.

Applications aux couleurs des corps vus à travers les prismes, à l'arc-en-ciel et à quelques faits analogues. Achromatisme.

Les principes que nous venons d'établir relativement à la production des couleurs par la réfraction, peuvent servir à expliquer un grand nombre de faits bien propres à piquer la curiosité, comme les apparences sous lesquelles se présentent à nous les corps vus à travers les prismes, l'arc-en-ciel et beaucoup d'autres. Nous allons en rapporter quelques-uns des plus intéressans :

Prismes. « Ce qui (1) surprend, lorsque pour la première fois on regarde à travers un prisme quelque objet éclairé, c'est cette belle variété de couleurs vives dont il paraît bordé, et quelquefois comme chamarré en différens endroits de sa surface. Voilà ce qui frappe au premier coup-d'œil, et bien des gens n'y voient que cet effet ; mais un observateur attentif y trouve encore d'autres remarques à faire.

» Quand l'objet est grand et qu'il est vu de près, les couleurs ne paraissent qu'au bord, au lieu que s'il est petit et vu d'un peu loin, comme une carte à jouer, par exemple, à 12 ou 13 pieds de distance, il est coloré dans toute sa surface, comme l'image produite par le prisme dans la première expérience.

» Lorsque l'objet ne paraît coloré que par ses bords, les côtés opposés le sont différemment ; l'un porte du rouge et du jaune, l'autre du vert, du bleu et du violet ; et si l'axe du prisme est parallèle à la ligne qui joint les deux yeux,

(1) Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale.

ou qu'on le tienne verticalement en ne regardant que d'un œil, il n'y a que deux bords colorés; dans le premier cas, ce sont ceux d'en bas et d'en haut; dans le second, ce sont les côtés montans : cela se voit tout au mieux, lorsqu'étant dans une chambre, on regarde en plein jour les carreaux de la fenêtre.

» Enfin, si c'est un objet lumineux sur un fond obscur, les couleurs qui paraissent aux bords sont dans un ordre opposé à celui dans lequel on les voit, quand l'objet est obscur sur un fond clair : supposez que, dans le premier cas, le rouge et le jaune soient en haut, le bleu et le violet en bas; dans le second c'est tout le contraire, quoique l'angle du prisme par lequel on regarde demeure toujours tourné du même sens.

» On se rendra raison de ces effets, si l'on fait attention que la lumière réfléchie de dessus les objets, comme celle qui vient immédiatement des corps lumineux, se réfracte et se décompose également en passant par l'angle d'un prisme : car dès que les rayons qui apportent à l'œil du spectateur l'image d'un morceau de papier blanc ou de tout autre corps éclairé, se plient dans le verre les uns plus que les autres, c'est une nécessité que cette image s'agrandisse dans un sens, et qu'elle montre distinctement toutes les couleurs de ces rayons démêlés.

» Si l'objet peut être compris dans l'angle que forment les rayons les moins réfrangibles avec ceux qui le sont le plus, je veux dire les rouges avec les violets, alors toutes les couleurs demeurent contiguës les unes aux autres sans interruption; mais s'il excède cet angle, les bords opposés paraissent seuls colorés, l'un en rouge et en jaune, l'autre en vert, bleu et violet : l'espace qui est entre deux se voit comme à la vue simple, parce qu'il s'y trouve des rayons de toutes les espèces et dans une proportion assez grande pour ne laisser sentir aucune décomposition de lumière, pourvu néanmoins que la surface de l'objet soit uniformément illuminée; car autrement les parties les plus claires

font comme autant d'objets particuliers, de chacun desquels on peut dire tout ce que nous disons d'un objet en général.

» Pour mieux comprendre tout ceci, jetez les yeux sur la *fig.* 111. Soit A B, une des dimensions de l'objet, sa hauteur, par exemple; sans l'interposition du prisme D, l'œil placé en C apercevrait l'objet en question par tous les rayons directs compris entre A C et B C. Dès qu'on fait passer cette pyramide de lumière composée par l'angle du prisme, chaque espèce de rayon va se réfracter suivant que sa nature l'exige; de sorte que, si l'on en supprimait cinq, et qu'il ne restât que les rouges, par exemple, et les violets, il se ferait deux pointes E, F, de ces mêmes couleurs, et l'œil qui se placerait à portée de les recevoir verrait l'objet A B dans l'angle E d'un rouge pur, et d'un violet également homogène dans l'angle F. Mais la différence de réfrangibilité de ces deux lumières n'étant pas assez grande pour porter la première image tout à fait au-dessus de l'autre, il est évident que l'espace où elles se superposeraient paraîtrait sous les deux couleurs, rouge et violet, ce qui le rendrait pourpre.

» Ne supprimons plus maintenant les cinq autres espèces; faisons-les passer avec celles-ci par l'angle du prisme D; au lieu de deux pointes E, F, il y en aura sept dans les mêmes limites, et l'œil rapportera les images qu'elles lui feront sentir entre les images rouge et violette, de sorte qu'un certain espace participera de toutes les couleurs: or, ce mélange recompose la lumière, et lorsqu'elle est en cet état, les couleurs disparaissent de l'endroit qu'elle illumine. Il n'y a donc que les extrémités qui demeurent colorées, parce qu'il n'y a que là où les espèces soient assez démêlées pour conserver leurs couleurs.

» En regardant un carreau de vitre ou quelque autre objet semblable, si l'on tient le prisme horizontalement, on ne voit des couleurs qu'aux bords d'en haut et d'en bas, parce que les réfractions ne se font que dans ce sens; c'est-à-

dire, que les rayons s'abaissent vers l'œil en sortant du prisme, si l'angle réfringent est tourné en haut, et que, s'il est en bas, c'est tout le contraire. Par la même raison, on ne voit des couleurs qu'aux deux côtés montans, quand la longueur du prisme est dans une situation verticale. Dans l'une et dans l'autre position, les bords colorés demeurent sensiblement droits : cependant, si c'était un grand objet, quoique sa longueur fût parallèle à celle du prisme, il paraîtrait courbé en forme d'arc, parce que les rayons qui viendraient de ses extrémités tomberaient fort obliquement à l'axe du prisme, et ne feraient plus voir ces parties dans le même alignement avec celles du milieu, à cause de la réfraction latérale qu'ils souffriraient. On peut s'assurer de ce fait, en regardant avec le prisme, d'un lieu un peu élevé, la rivière ou un canal bien éclairé et bien découvert ; on aura le plaisir de voir un *arc-en-terre* tout à fait semblable à celui que nous admirons au ciel en certaines circonstances.

» L'objet obscur sur un fond clair fait voir à ses bords des couleurs dont les situations ne sont pas telles qu'on les doit attendre de la réfraction respective des rayons ; les rouges et les jaunes se placent en haut, les bleus et les violets en bas, lorque, par la position du prisme, on a lieu de compter sur un arrangement tout opposé. Supposons, par exemple, que GHIK, *fig.* 112, soit un grand carton blanc attaché contre un mur, et qu'au milieu on ait collé un morceau de drap brun ou quelque autre chose d'équivalent : si l'on regarde ce dernier objet avec un prisme, dont la longueur soit parallèle à GH et l'angle réfringent tourné en haut ; puisque les rayons rouges et les jaunes sont moins réfrangibles que les autres, ces deux couleurs devraient s'apercevoir au bord inférieur du morceau de drap, et le bord d'en haut devrait être bleu et violet. Il arrive cependant tout le contraire, parce que ces lumières réfractées et colorées qui bordent l'objet qu'on a en vue ne lui appartiennent pas ; elles viennent du fond clair sur lequel

il est attaché. Il faut considérer l'objet brun comme placé entre deux objets blancs, et qui lui sont contigus ; ces deux objets sont la partie supérieure G H, *g h* du carton blanc, et sa partie inférieure *i k*, I K. Le rouge et le jaune qu'on voit en *g h* avec le bleu et le violet qui bordent G H, colorent le premier selon les règles ; le bleu et le violet en *i k*, avec le rouge et le jaune en I K, font la même chose pour le second. Aucune de ces couleurs ne doivent donc être attribuées au morceau de drap ; et c'est de cette manière qu'on doit expliquer tous ces renversemens de couleurs qu'on croit voir, quand on regarde avec le prisme les différentes parties d'un vaste champ, les endroits plus ou moins éclairés d'une grande surface, des arbres, ou l'horizon terminé par un ciel bien lumineux.

» Un rayon du soleil tombant obliquement sur la surface de l'eau qui remplit un verre à boire posé sur le bord d'une table, fait voir les couleurs prismatiques à quelques pieds de distance au-delà ; ce qui n'arrive pas ordinairement ou d'une manière bien sensible, quand la lumière qui a traversé le vase ne s'étend pas un peu loin après son émersion.

» La masse d'eau que traverse le rayon solaire en pareil cas est un véritable prisme dont l'angle réfringent est vers le bord du vaisseau ; il doit donc produire des effets semblables à ceux d'un morceau de verre solide qui aurait cette forme : mais comme les différens dégrés de réfrangibilité des rayons ne les écartent les uns des autres que sous des angles très-aigus, ce n'est qu'à une distance un peu grande du corps réfringent qu'ils sont assez démêlés pour paraître avec leurs couleurs propres ; plus près du vase, il n'y a tout au plus que les bords de la lumière émergente qui soient un peu colorés.

» Les diamans et surtout ceux qui sont *brillantés*, lorsqu'on les plonge dans un rayon solaire, produisent une infinité de petites images colorées comme celles du prisme, et d'une vivacité admirable ; cela vient du grand nombre de leurs facettes qui forment entr'elles autant de petits prismes :

la lumière incidente se partage en plusieurs petits jets qui se subdivisent encore sur toutes les faces diversement inclinées du fond, et qui se réfléchissant de là, ne manquent pas de se décomposer en sortant, s'ils ne l'ont pas été en entrant. Les couleurs sont plus vives avec le diamant qu'avec le verre, parce qu'elles sont mieux séparées, le premier de ces deux corps étant plus réfringent que l'autre, et parce que sa transparence est aussi plus parfaite. La lumière des bougies produit les mêmes effets, quoiqu'avec moins d'éclat que celle du soleil; voilà pourquoi les assemblées de nuit sont si favorables aux parures dans lesquelles on fait entrer des pierreries : des jets de lumière directe, multipliés dans un lieu où la clarté est toujours moindre que celle du jour, rendent les effets dont nous parlons et plus sensibles et plus fréquens ».

Arc-en-ciel. « De tous les phénomènes qui ont rapport aux couleurs de la lumière, il n'en est pas de plus beau, ni qui mérite plus notre curiosité et notre admiration, que ce grand arc qu'on voit briller au ciel, lorsqu'ayant le dos tourné au soleil, on regarde une nuée qui fond en pluie, et qui est éclairée par cet astre élevé au-dessus de l'horizon. De tout temps on en a eu une haute idée; les hommes sauvés du déluge universel l'ont reçu et regardé comme un signe de paix de la part de Dieu; le paganisme en a fait une divinité sous le nom d'*Iris;* les poètes l'ont célébré de toutes les manières, et les philosophes de tous les siècles se sont efforcés d'en connaître et d'en expliquer les causes physiques.

» Antoine *de Dominis*, archevêque de Spalato, qui écrivait vers la fin du 16e siècle, a raisonné sur *l'arc-en-ciel* mieux que tous ceux qui l'avaient précédé, en attribuant sa forme et ses couleurs aux rayons du soleil réfractés et réfléchis par les gouttes de pluie vers l'œil du spectateur. Descartes (1), enchérissant sur les explications de ce savant

(1) *De Meteoris.*

italien, éclaircit encore la matière; mais il était réservé à Newton de la mettre dans son plus grand jour, en appliquant à ce phénomène sa découverte de la décomposition de la lumière et de la réfrangibilité propre à chaque espèce de rayon : c'est son ouvrage même qu'il faut lire et étudier, si l'on cherche des raisons complètes et exactes de toutes les circonstances. Je ne peux exposer ici que les résultats auxquels on parvient et la marche à suivre quand on veut résoudre entièrement cette belle question; et, pour me faire plus facilement comprendre, j'indiquerai d'abord une expérience au moyen de laquelle on peut imiter les principales apparences de l'arc-en-ciel.

» Pour la faire, il faut avoir une boule de verre creuse et mince, remplie d'eau claire, à peu près semblable à celles qu'on met au bas des lustres de crystal artificiel : on la suspend par deux fils attachés à ses pôles vers le fond d'une chambre, mais à telle distance de la fenêtre et à telle hauteur, que les rayons du soleil puissent tomber dessus : afin qu'on puisse l'élever plus ou moins, on fait passer les deux fils sur deux poulies fixées au plancher, et l'on en fait pendre les bouts à portée de la main. Enfin il faut se placer entre la fenêtre et la boule, à telle distance et à telle hauteur que les rayons qui reviennent de la boule à l'œil puissent faire avec ceux qui vont du soleil à la boule, des angles tantôt plus petits que de 40 dégrés, tantôt un peu plus grands que de 54.

» Si l'angle S F O, *fig.* 114, dont je viens de parler, est de 42 dégrés 2 minutes, l'œil du spectateur placé en O aperçoit un rouge fort vif dans la direction O *r*.

» Si l'œil s'élève davantage, ou que la boule s'abaisse tout doucement pour faire l'angle en question de plus en plus petit, jusqu'à ce qu'il n'ait plus que 40 dégrés 17 minutes, comme S F B, on aperçoit successivement toutes les autres couleurs prismatiques, le vert, le bleu, etc., dans les directions J *t*, B *b*, etc.

» Enfin, si l'on fait ce même angle de 50 dégrés 59

minutes, la boule étant plus élevée, comme dans la *fig.* 113, on voit le rouge dans la direction O*r*; et si l'on continue d'élever peu à peu la boule, jusqu'à ce que l'angle soit de 54 dégrés 9 minutes, on voit succéder toutes les autres couleurs dans cet ordre, le jaune, le vert, le bleu, etc. ».

Ces effets sont entièrement semblables à ceux qu'on observe dans l'arc-en-ciel, et, quand on les a bien étudiés, il est facile d'en faire l'application.

Tout rayon lumineux S*s*, *fig.* 114, qui rencontre la boule obliquement se décompose; et chacun des rayons qui en proviennent se réfracte en se rapprochant de la perpendiculaire *p*C. Pour plus de simplicité, considérons d'abord le rayon rouge seulement : après s'être réfracté, il va se réfléchir en *t*, en faisant l'angle de réflexion C*tf* égal à l'angle d'incidence C*ts*; puis il se réfracte de nouveau suivant *f*R, en s'écartant de la perpendiculaire *p'* C. D'après cela, on voit que la direction du rayon est changée tant par les deux réfractions que par la réflexion, et que le rayon émergent fait avec le rayon incident un certain angle S F B qui mesure ce changement, et qu'on appelle pour cette raison la déviation. Cet angle varie avec la position du rayon incident; il est nul évidemment quand le rayon incident vient suivant *s c t* perpendiculairement à la surface réfringente : sa valeur peut, au reste, être dans tous les cas exprimée simplement au moyen des angles d'incidence et de réfraction; il suffit pour y arriver de remarquer que l'angle de réfraction C*st*, que nous représenterons par *r* ou son égal *st*C, comme extérieur au triangle F*ts*, vaut les deux angles non adjacens *t*F*s* qui est la moitié de l'angle D de déviation, et *ts*F qui est la différence entre l'angle *i* d'incidence et l'angle de réfraction, de sorte qu'on a l'équation :

$$r = i - r + \frac{D}{2}.$$

d'où l'on tire :

$$D = 4r - 2i.$$

Cette relation et la formule

$$\sin i = N \sin r$$

de la page 78 permettent de calculer la valeur de D pour toutes les positions du rayon incident. Par exemple, quand le rayon incident est sensiblement tangent, l'angle d'incidence est presque droit $i = 90°$; N égalant dans le cas actuel $\frac{4}{3}$, on trouve $r = 48° 35'$, et par suite $D = 14° 20'$. Pour une position du rayon comprise entre celle-ci et celle dont nous avons parlé plus haut pour laquelle $D = o$, le calcul se fait de même; effectué pour le cas où $i = 59° 23' 30''$, il conduit à $D = 42° 1' 40''$.

Nous donnons ces exemples, afin de faire voir que, tandis que la valeur de l'angle d'incidence change et passe de 0° à 90°, l'angle de déviation varie aussi et passe de 0° à 14° 20', mais en prenant dans l'intervalle des valeurs plus grandes que cette dernière. Il suit de là qu'il existe pour D une valeur *maximum* correspondante à une valeur de i comprise entre 0° et 90°; nous ne pouvons la déterminer ici, mais il est facile de le faire avec les règles ordinaires du calcul différentiel : elle correspond à $i = 59° 23' 30''$, et elle est telle que nous l'avons indiquée dans un des exemples précédens.

Avec ces données, nous allons pouvoir distinguer maintenant les rayons efficaces de ceux dont l'action est insensible.

Si un faisceau de rayons solaires parallèles vient rencontrer la boule de manière que son axe fasse un angle d'incidence égal à 59° 23' 30", sa déviation (en ne considérant encore que les rayons réfractés rouges) sera de 42° 1' 40", celle des rayons voisins soit d'un côté, soit de l'autre, sera moindre, mais très-peu; et le faisceau émergent sera composé de rayons à peu près parallèles qui entreront en grande quantité dans l'œil, et produiront la sensation de la couleur rouge; c'est le premier effet observé dans l'expérience.

Mais si le faisceau vient rencontrer la boule de manière

que son axe fasse un angle d'incidence différent de 59° 23′ 30″, cet axe éprouvera une déviation moindre, et celle des rayons voisins d'un côté sera plus grande, tandis que celle des rayons voisins de l'autre côté sera moins grande; le faisceau émergent sera donc composé de rayons qui ne seront plus sensiblement parallèles, qui iront au contraire en divergeant : par cette raison, et à cause du déchet que la lumière éprouve pendant les réfractions et la réflexion, son action sur l'organe sera insensible. Ainsi, il n'existe qu'une direction dans laquelle on puisse apercevoir des rayons rouges qui aient subi une seule réflexion.

Pour les rayons d'une autre couleur, on fait les mêmes raisonnemens; seulement, comme la valeur de N n'étant pas la même, les résultats sont différens : pour le violet, par exemple, $N = \frac{109}{81}$, et on trouve que la déviation des rayons efficaces est, comme l'expérience le prouve d'ailleurs, de 40° 17′.

Dans la *fig.* 114, nous avons considéré le rayon tf comme ne se propageant que par réfraction; dans la réalité, il se réfléchit en même temps suivant une nouvelle direction comprise dans la boule, et il va émerger en un nouveau point g, *fig.* 113. La déviation s'obtient encore très-facilement dans ce cas, en exprimant au moyen de D, r, i la somme des angles du pentagone ABCDT qui vaut 3 fois 180°. En effet, l'angle $TDc = oDc + oDT = r + 180° - i$, car l'angle TDo est supplément de l'angle i; l'angle TAB a la même valeur, et les angles B et c valent chacun $2r$; ce qui donne, en faisant la somme et y joignant l'angle ATD ou D :

$$D + 6r + 2 \times 180° - 2i = 3 \times 180;$$

ou, en résolvant :

$$D = 180 + 2i - 6r.$$

Par des raisonnemens tout à fait analogues à ceux qu'on emploie dans le cas d'une seule réflexion, on prouve qu'ici D est susceptible d'acquérir une valeur *minimum* qui est pour le

rouge de 50° 59′ et pour le violet de 54° 9′, les angles d'incidence et de réfraction étant

pour le rouge : $i = 71°\,50'$, $r = 45°\,27$.

pour le violet : $i = 71°\,26'$, $r = 44°\,47$.

On explique aussi d'une manière entièrement semblable l'efficacité des rayons qui tombent sous ces incidences, et l'inefficacité des rayons dont la déviation est différente.

On pourrait aussi considérer les rayons qui subissent 3 ou 4 réflexions ; mais ils deviennent si faibles, à cause du déchet qu'éprouve la lumière à chaque réflexion, qu'ils sont rarement sensibles.

« Pour tirer de cette expérience une explication très-plausible de l'arc-en-ciel, il n'y a qu'à comparer les gouttes d'eau qui tombent de la nuée, à la boule dont nous venons de parler ; car les gouttes de pluie sont d'une figure sphérique ou à peu près, et la grandeur n'est ici d'aucune considération. Puisque cette boule, en descendant de D vers E, *fig.* 114, et en montant de G vers H, *fig.* 113, fait voir successivement les couleurs prismatiques dans cet ordre, rouge, jaune, vert, bleu, violet, il est évident que si les deux espaces ED, GH, étaient remplis par deux suites de petites boules permanentes, on verrait à la fois deux rangs de couleurs, savoir ; de D en E, du rouge, du jaune, du vert, du bleu, du violet, et de même en montant de G en H ; et si l'on imagine de pareilles suites dans les circonférences de deux cercles qui soient les bases des cônes ayant pour sommets l'œil du spectateur, pour axes une ligne menée par le centre du soleil, et des demi-angles égaux aux diverses valeurs de D, de sorte que leurs génératrices fassent avec les rayons venant du centre du soleil des angles pareillement égaux aux diverses valeurs de D, on aura deux bandes circulaires diversement colorées, dont les largeurs seront égales à ED et à GH, c'est-à-dire, proportionnées à la différence qu'il y a entre les rayons les plus réfrangibles et ceux qui le sont le moins, et dont les couleurs seront dans des situations opposées. Toutefois, ces bandes

ne sont ordinairement visibles qu'en partie, la terre empêchant d'en voir le bas.

» Tout cela quadre, on ne peut pas mieux, avec ce que l'on observe dans l'arc-en-ciel : pour l'ordinaire il est double ; celui d'en bas, dont les couleurs sont plus vives, est rouge en sa partie supérieure ; le jaune, le vert, le bleu, etc., le suivent en descendant : dans l'autre, au contraire, c'est le rouge qui borde l'intérieur, et les autres couleurs s'étendent en montant. Celui-ci est moins brillant que le premier, parce que sa lumière ayant souffert une réflexion de plus, s'est affaiblie davantage.

» On voit dans les *figures* 113 et 114 les couleurs se présenter à l'œil dans un ordre tout différent de celui dont je viens de parler, et qu'on observe aux deux arcs-en-ciel ; mais il faut faire attention que c'est au ciel où nous voyons ces couleurs, et que nous les y rapportons par des directions qui se croisent aux points d'émergence g, f : ainsi nous voyons le rouge en r, le jaune en i, le bleu en b ; de là il arrive que le rouge paraît border extérieurement l'arc d'en bas, et intérieurement celui d'en haut.

» Quant à la largeur des arcs, elle est plus grande dans l'un et dans l'autre que ne la donnent les limites qui renferment tous les dégrés de réfrangibilité des rayons hétérogènes ; cela vient de ce que nous avons regardé comme un point le soleil dont le diamètre est d'environ $30'$. Chaque point de cet astre produit un arc-en-ciel particulier qui ne se superpose qu'en partie sur les autres ; il en résulte qu'il faut augmenter de $15'$ de chaque côté la largeur de chaque arc-en-ciel, et conséquemment diminuer de $30'$ la largeur de l'espace qui les sépare. Avec ces corrections on trouve la largeur de l'iris intérieure de 1 dégré 45 minutes, celle de l'arc extérieur de 3 dégrés 10 minutes, leur distance réciproque de 8 dégrés 57 minutes.

» C'est par des raisons semblables à celles que je viens d'employer qu'on doit chercher à expliquer les couleurs qu'on aperçoit autour d'un jet d'eau que le vent agite et

divise en pluie lorsqu'il est éclairé du soleil, et qu'on le regarde ayant le dos tourné à cet astre, car on n'aperçoit pas cet effet dans toutes sortes de positions; et si l'on examine attentivement celle qui est nécessaire, on verra que les angles formés par les rayons qui vont du soleil au jet d'eau, et par ceux qui reviennent de là à l'œil du spectateur, sont assujettis aux conditions qu'exige l'arc-en-ciel.

» On a vu quelquefois des cercles de lumière colorée, par portions ou en entier, sur une prairie qu'on regardait d'un lieu un peu haut, quelque temps après le lever du soleil; ce sont encore des effets de la lumière réfractée et réfléchie par les gouttes de rosée qui restent attachées à l'herbe pendant un certain temps. Pour connaître particulièrement la marche des rayons en pareil cas, il n'y a qu'à faire attention à la hauteur de l'astre sur l'horizon, à la position de l'œil, aux pouvoirs réfractif et réflectif d'une goutte d'eau supposée à l'endroit où paraît le phénomène, et aux différens dégrés de réfrangibilité des rayons qui composent la lumière solaire. Enfin c'est encore aux réfractions que souffre la lumière en passant par des gouttes d'eau, qu'on doit attribuer ces cercles colorés qu'on observe quelquefois autour du soleil et de la lune, puisqu'on les imite en quelque façon lorsqu'on place la flamme d'un flambeau ou d'une bougie derrière une vapeur d'eau un peu épaisse ».

Parhélies. Ce serait ici le lieu d'examiner aussi un phénomène plus rare et non moins surprenant que celui de l'arc-en-ciel, les parhélies ou faux-soleils; mais, comme on n'en a encore trouvé aucune explication bien plausible, nous nous bornerons à en donner la description:

Les parhélies sont des images du soleil, les unes incolores, les autres parées des couleurs de l'arc-en-ciel, qui paraissent dans certaines circonstances à des distances plus ou moins grandes de cet astre. Leur figure n'est pas aussi parfaitement ronde que celle du soleil; on leur remarque souvent des angles: leur lumière est aussi ordinairement

moins vive ; et, quand il en paraît plusieurs à la fois, ils sont plus pâles les uns que les autres. Communément, ils sont unis par un grand cercle lumineux blanc, qui est quelquefois accompagné d'une ou de plusieurs couronnes ou cercles lumineux colorés.

Quoique ce phénomène ne se manifeste pas fréquemment, on a recueilli cependant un assez grand nombre d'observations :

M. de la Hire en vit deux à Paris en 1689, et M. Cassini autant en 1693 ; MM. Gray, Halley et Maraldi ont décrit ceux qu'ils ont observés en 1700, 1702 et 1721. A Rome, Scheiner en vit quatre dont Descartes et Huyghens essayèrent de donner l'explication. Enfin en 1661, Hévelius en observa sept ; c'est le phénomène de ce genre le plus remarquable qu'on connaisse.

Relativement aux circonstances, on a constaté 1° que le temps n'est jamais parfaitement serein pendant l'apparition des parhélies ; que l'air se trouve alors chargé d'une matière transparente assez semblable à un brouillard léger ; 2° qu'il est rare de voir les parhélies de deux endroits en même temps, quoiqu'ils soient tous proches les uns des autres ; 3° qu'on les voit d'ordinaire en hiver, lorsqu'il fait froid ou qu'il gèle un peu ; 4° lorsque les parhélies disparaissent, il commence à pleuvoir ou à neiger.

Achromatisme. En étudiant les prismes, nous avons vu qu'ils produisaient sur la lumière deux effets : ils en changent la direction, et en même temps ils la décomposent en rayons de diverses couleurs. On appelle prismes *achromatiques*, ceux qui sont construits de manière à produire le premier de ces effets et non le second. Les lentilles, en même temps qu'elles réfractent la lumière de manière à la concentrer en un foyer, la décomposent aussi, et font voir colorés des objets qui ne le sont réellement pas ; cela résulte de ce qu'elles peuvent être considérées comme un assemblage d'une infinité de prismes : cet effet nuit beaucoup à la

perfection des instrumens d'optique, en rendant les images plus confuses ; aussi est-il très-important d'achromatiser au moins les objectifs des lunettes, c'est-à-dire de les construire de manière qu'ils concentrent la lumière sans la décomposer, si on veut qu'elles produisent tout l'effet qu'on en attend, eu égard à la grandeur de leurs verres. Pendant long-temps on avait cru, sur la foi d'une expérience de Newton dont on ne pensait pas devoir soupçonner l'exactitude, qu'il était impossible d'obtenir un tel résultat ; mais enfin les travaux de plusieurs physiciens distingués firent découvrir un moyen de l'atteindre. Voici sur quoi il est basé :

Les substances transparentes réfractent toutes la lumière et la décomposent en rayons de diverses couleurs ; si on considère les rayons extrêmes, le rouge et le violet, ils font entr'eux un certain angle qui est la différence entre l'angle de réfraction du rouge et l'angle de réfraction du violet. Cet angle est ce qu'on appelle la *dispersion ;* il varie avec l'obliquité des rayons lumineux et avec la nature de la surface réfringente : mais, ce qu'il importe le plus de remarquer ici, c'est qu'il n'est pas toujours en rapport avec la réfringence de la substance ; si bien que, toutes choses égales d'ailleurs, certaines substances, sans réfracter beaucoup plus que d'autres la lumière qui les traverse, la dispersent bien davantage, c'est-à-dire séparent le rouge et le violet par un angle plus grand.

Il résulte de là que si on oppose l'un à l'autre deux prismes de substances qui soient dans ce cas, de manière qu'ils agissent en sens inverse (voy. *fig.* 115), on pourra leur donner des angles inégaux tels que l'angle le plus petit, qui tend à détruire les effets du plus grand, laisse encore subsister une partie de la déviation imprimée aux rayons lumineux par celui-ci, et réunisse cependant exactement le rouge et le violet.

On arrive au même but pour les lentilles, en les composant aussi de deux lentilles qui s'adaptent l'une contre l'autre de manière à n'en former qu'une : la première de ces deux

lentilles doit être convergente, et être formée d'une substance moins dispersive; la seconde doit être divergente, et composée d'une substance plus dispersive, afin qu'on puisse lui donner des courbures convenables pour qu'elle détruise la dispersion occasionnée par la première, et laisse subsister en partie la convergence imprimée par celle-ci aux rayons.

Etant connus les indices de réfraction des deux substances qu'on veut employer pour le rouge et pour le violet, on peut déterminer par le calcul les angles des prismes ou les rayons de courbure des lentilles capables de s'achromatiser mutuellement; mais comme il est difficile de déterminer avec précision ces quantités qui varient d'un morceau de verre à l'autre, et dans la même masse de verre du centre aux bords; les opticiens préfèrent se servir de la méthode du tâtonnement. Ils travaillent d'abord les deux faces égales des deux lentilles destinées à s'achromatiser, ensuite ils les réunissent, puis cherchent, en augmentant ou en diminuant les courbures des deux faces libres, à obtenir une lentille d'un bon effet.

Nous ne pouvons point traiter ici plus en détail ce sujet qui est un des plus difficiles de l'optique; nous renverrons les personnes qui voudraient s'en instruire plus à fond aux mémoires de Clairaut et d'Alembert (*mém. de l'acad. roy. des sc.*, 1756, *et* 1757, *pag.* 524. *Opuscules de d'Alembert, tom.* 3), et au supplément du traité d'optique de Smith, par Duval Leroy. Nous ferons seulement remarquer que les substances dont le pouvoir dispersif est différent n'agissent pas en général proportionnellement sur les diverses couleurs; il en résulte qu'en n'employant que deux pièces pour composer les lentilles et les prismes, on ne peut pas réunir exactement toutes les couleurs : cet inconvénient devient toutefois très-léger, quand on a soin de réunir exactement les couleurs les plus vives, parce que les autres, qui ne s'en écartent pas beaucoup alors, ne peuvent pas rendre la vision bien confuse.

En achromatisant les lentilles et en augmentant convena-

blement les dimensions des instrumens, on peut espérer arriver à une perfection très-grande et obtenir des résultats de plus en plus surprenans; tellement qu'il est impossible de dire maintenant où s'arrêtera la science de l'optique. Toutefois, il est une limite qu'on ne dépassera jamais; car, voir un objet, c'est en distinguer les diverses parties; ce qui ne peut avoir lieu qu'autant qu'elles sont composées chacune d'un nombre d'atomes suffisant pour que leurs actions sur l'œil soient sensibles. Les atomes, par exemple, sont de toute nécessité invisibles, puisque leurs parties ne se mouvant pas séparément, ne peuvent produire sur l'œil des impressions distinctes; et comme les limites dans lesquelles le sens du toucher peut nous servir sont beaucoup plus restreintes que celles dans lesquelles s'exerce la vision, il suit de là que les hommes n'ont aucun moyen, si ce n'est le raisonnement, pour acquérir des connaissances sur les formes de ces élémens de l'univers matériel.

Double réfraction.

Prismes bi-réfringens. Outre les circonstances de la réfraction précédemment étudiées, il en est une qu'on a découverte que plus tard, et dont nous devons parler avant d'abandonner ce sujet. Certaines substances ont la propriété de diviser un rayon lumineux qui les traverse en deux autres, dont l'un suit les lois ordinaires de la réfraction auxquelles l'autre déroge, au moins en général; d'autres substances donnent deux rayons qui ne suivent ni l'un ni l'autre les lois de la réfraction. Ce fait surprenant peut être constaté au moyen d'un prisme de spath d'Islande (carbonate de chaux cristallisé), sur lequel on reçoit un rayon de lumière dans une chambre obscure; ce rayon fait voir deux spectres séparés l'un de l'autre, et disposés de telle sorte qu'il est facile de remarquer que les plans d'émergence sont presque toujours différens.

Pour concevoir la cause de ce phénomène, il faut se

rappeler l'explication que nous avons donnée de la réfraction simple, pag. 79 et 185; on y a vu que plusieurs files d'atomes étaient rendues lumineuses dans des directions différentes, et (pag. 186) qu'il pouvait y avoir des augmentations et des diminutions d'intensité successives. Ce que nous avons dit alors peut faire comprendre l'existence d'un second faisceau réfracté analogue au premier, puisqu'il suffit pour cela qu'en s'éloignant d'un certain côté du premier rayon réfracté *a b*, *fig.* 116, il se trouve d'abord des directions dans lesquelles l'intensité soit trop faible pour qu'il y ait lumière transmise, et ensuite d'autres directions dans lesquelles l'illumination ait lieu à des profondeurs plus ou moins grandes et correspondantes aux couleurs du spectre. Il ne reste donc qu'à expliquer comment il peut arriver que l'un des rayons réfractés ou tous deux soient compris dans des plans différens du plan d'incidence. Pour y parvenir, nous remarquerons que cela n'a jamais lieu dans les substances parfaitement homogènes comme les liquides et les solides dont la structure est la même dans toutes les directions. Quant aux autres substances, leur structure n'étant pas uniforme, elle peut être plus favorable à la transmission de la lumière, dans certaines directions situées en général hors du plan d'incidence, et occasionner ainsi un second faisceau réfracté qui n'obéisse pas aux lois ordinaires de la réfraction, et même occasionner en même temps dans certains cas un changement dans la direction ordinaire du *maximum* d'action, de manière que les rayons dérogent tous deux aux lois établies pag. 77 et 78.

Lorsqu'on reçoit un rayon solaire sur un rhomboïde de spath d'Islande au lieu d'un prisme, ce rayon est encore divisé en deux autres, mais on n'observe plus de couleurs: la lumière décomposée à son entrée se recompose à sa sortie par la face parallèle opposée. Ce fait très-simple sert à expliquer la vision à travers un milieu doublement réfringent; les objets sont alors vus doubles, ainsi qu'on peut s'en assurer en regardant avec un rhomboïde un point marqué

sur un objet quelconque, et l'une des deux images est vue plus rapprochée. La *fig.* 117 fait voir la marche des rayons qui arrivent alors du point lumineux à l'organe dans deux directions un peu différentes, et qui conséquemment font voir deux images de ce point. Elle peut servir aussi à expliquer une expérience de Monge qui paraît d'abord assez surprenante. Cet illustre savant a remarqué que si l'on avançait une carte par derrière le rhomboïde de gauche à droite pour cacher le point lumineux, c'était l'image droite qui disparaissait la première : cela vient de ce qu'on intercepte d'abord le rayon Br' qui, comme le montre la figure, se trouve à droite après que les rayons se sont croisés dans le cristal. Le rapprochement apparent des deux images s'explique comme le rapprochement apparent d'un corps vu sous l'eau (*voy.* pag. 87); l'une d'elles est vue plus près, parce qu'elle est due à des rayons qui ont été plus fortement réfractés; elle est dans le même cas qu'un objet vu à travers un milieu plus réfringent.

Dans tout cristal doublement réfringent, il existe une ou deux directions, ayant des rapports remarquables avec sa structure, dans lesquelles un faisceau lumineux peut le traverser sans se diviser; ces directions s'appellent des *axes de réfraction*, et on distingue dans l'étude de la double réfraction des cristaux à un axe et des cristaux à deux axes; jusqu'à présent on n'en a pas observé qui aient trois axes ou un plus grand nombre.

Relativement aux cristaux à un axe, les physiciens ont établi les propositions suivantes :

Un des deux rayons reste toujours soumis aux lois ordinaires de la réfraction; l'autre y déroge, si ce n'est quand le plan d'incidence est perpendiculaire à l'axe; et, dans ce cas, le rayon extraordinaire (1) *a un indice de réfraction*

(1) Le rayon extraordinaire est celui qui n'obéit pas en général aux lois de la réfraction.

qui est plus grand pour certaines substances et plus petit pour d'autres que l'indice de réfraction du rayon ordinaire.

Dans toute section principale (1), *le rayon réfracté extraordinairement reste dans le plan d'incidence, mais il n'est pas situé de manière que le sinus de son angle de réfraction soit dans un rapport constant avec le sinus de son angle d'incidence; de sorte qu'il obéit à l'une des lois ordinaires de la réfraction et déroge à l'autre.*

Et relativement aux cristaux à deux axes, la proposition suivante :

Les deux rayons dérogent aux lois de la réfraction, si ce n'est pour l'un quand le plan d'incidence est perpendiculaire à la ligne moyenne (2), *et pour l'autre quand le plan d'incidence est perpendiculaire à la ligne supplémentaire* (3). On appelle indice de réfraction de chaque rayon le rapport constant de son sinus d'incidence à son sinus de réfraction, dans le plan où il suit les lois ordinaires de la réfraction.

On a aussi essayé de faire traverser un second rhomboïde de spath d'Islande successivement au rayon ordinaire et au rayon extraordinaire sortant d'un premier, et on a reconnu :

Que, quand leurs sections principales étaient parallèles, le premier se réfractait sans donner de rayon extraordinaire, et le second sans donner de rayon ordinaire;

Et que, quand leurs sections principales étaient perpendiculaires, le contraire avait lieu; de sorte que dans aucun de ces cas le second rhomboïde ne divisait le rayon qui le traversait : une des actions se trouvait trop faible pour

---

(1) On appelle *section principale* un plan perpendiculaire à une face naturelle ou artificielle du cristal, et mené par l'axe.

(2) La ligne moyenne est celle qui partage en deux parties égales l'angle aigu formé par les axes.

(3) La ligne supplémentaire est celle qui partage en deux parties égales l'angle obtus formé par les axes.

que, dans la direction où elle s'exerçait, la lumière pût se transmettre à travers le rhomboïde.

Dans toutes les autres positions relatives des deux cristaux, le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire donnaient naissance à deux nouveaux rayons d'intensités diverses.

Double réfraction du verre comprimé. On a imaginé des procédés pour rendre aussi doublement réfringentes des substances non cristallisées, en altérant dans certaines parties leur structure. On y est parvenu pour le verre au moyen de la disposition suivante :

Quatre prismes triangulaires A, B, C, D, *fig.* 118, étant placés à côté les uns des autres, on les pressa fortement dans un étau suivant leur longueur ; et pendant qu'ils étaient ainsi comprimés, on intercala trois prismes E, F, G et deux demi-prismes H, K un peu moins longs, et on les colla contre les premiers avec du mastic en larmes. Ainsi composé, ce système est doué de la double réfraction ; une petite mire placée vers la face S′S′ est vue double par l'œil qui regarde par la face SS.

ÉLECTRICITÉ.

Les connaissances que nous possédons sur cette branche de la physique à laquelle on a donné le nom d'électricité, sont dues presque uniquement aux découvertes faites dans ce genre depuis le commencement du siècle dernier. Avant cette époque, on ne connaissait que la propriété d'attirer les corps légers placés à peu de distance, que l'ambre jaune et quelques autres matières sont susceptibles d'acquérir par le frottement. Maintenant, le nombre des phénomènes connus est considérable ; dans ces derniers temps, les découvertes curieuses se sont succédées rapidement et ont tellement enrichi cette partie des sciences, qu'il nous sera impossible de la traiter complètement. Nous nous attacherons principalement, comme nous l'avons fait pour la lumière, à bien faire

connaître les causes des effets électriques, en décrivant les phénomènes les plus propres à les dévoiler, afin qu'un lecteur intelligent puisse facilement trouver l'explication des faits qui s'offriraient à lui, et dans le détail desquels nous n'aurions pas pu entrer.

PREMIÈRE SECTION.

Sources et nature de l'électricité.

Frottement. Le moyen le plus employé et le plus efficace pour électriser les corps est le frottement : il suffit de soumettre, en les tenant à la main, un grand nombre de matières, comme un bâton de cire à cacheter, du soufre, du verre, etc., à quelques frictions faites avec la main nue bien sèche ou diverses autres substances propres à cet usage, pour qu'elles acquièrent aussitôt la propriété d'attirer les corps légers placés dans le voisinage.

Mais tous les corps ne manifestent pas dans ces circonstances des dégrés d'électricité égaux ; il y en a qui attirent de plus loin des corps plus lourds, et il s'en trouve aussi qui n'acquièrent aucunement la vertu électrique. Pour comparer grossièrement les différentes matières considérées sous ce rapport, on se sert d'un instrument fort simple qui consiste en une petite balle de moëlle de sureau suspendue avec un fil de lin, et qu'on nomme *pendule électrique ;* on en approche les corps dont on veut constater la vertu électrique, et on reconnaît qu'ils sont plus ou moins électrisés à ce qu'ils attirent le pendule de plus ou moins loin. On trouve ainsi que le verre, le bois parfaitement desséché, frit ensuite dans l'huile bouillante, puis desséché de nouveau, sont des corps qui s'électrisent fortement, et que la soie et les substances résineuses s'électrisent à un moins haut dégré, mais n'exigent pas, pour acquérir le *maximum* de vertu dont elles sont susceptibles, un frottement d'aussi longue durée.

Choc! Pression. La pression et le choc peuvent aussi être employés pour produire de l'électricité. Qu'on presse entre les doigts un morceau de spath calcaire, ou qu'on laisse tomber de la limaille d'un métal sur une plaque métallique inclinée, pour la recevoir ensuite sur du *verre bien sec*, et on observera que ces substances auront acquis la vertu électrique, et seront capables d'agir sur le pendule.

Actions chimiques. Les actions chimiques sont encore une source puissante d'électricité que nous étudierons dans la suite. Selon certains physiciens très-recommandables, on devrait y joindre aussi le contact; mais comme cette source d'électricité, si toutefois c'en est une, est très-peu énergique, et que son existence est encore une question débattue par les savans, nous ne ferons que l'indiquer, sans entrer dans le détail des expériences qui peuvent faire regarder comme plus ou moins probables les opinions des divers physiciens sur ce sujet.

On voit d'après cette énumération que les sources d'électricité sont les mêmes que les sources de chaleur; et si l'on joint à cela que ces deux modifications des corps sont capables de produire les mêmes effets, à une différence d'intensité près (*voy.* effets de l'électricité), on ne mettra plus en doute leur identité.

Cependant, cette conséquence étant tirée, une objection s'offre immédiatement à l'esprit; on se demande aussitôt pourquoi les corps chauds n'attirent pas les corps légers? La réponse est facile, mais nous ne pouvons la donner complète ici; nous sommes forcés de la renvoyer au moment où nous examinerons les effets de l'électricité. Il est bon, toutefois, de réduire dès maintenant cette objection à sa juste valeur. Les corps chauds attirent faiblement les corps légers, à la vérité; mais en choisissant des circonstances favorables, on parvient à rendre leur action manifeste. M. Fresnel (bulletin de la société philomatique, juin 1825, page 84), et M. Saigey (bulletin de M. de Férussac,

oct. 1827; page 287), ont constaté, en employant des appareils très-mobiles, que tout corps chaud attire un corps moins chaud, et que deux corps chauffés également se repoussent. Nous verrons bientôt que ce dernier effet a son analogue parmi les phénomènes de l'électricité; que deux corps électrisés également, par quelque moyen que ce soit, se repoussent mutuellement, mais avec beaucoup plus de force.

Ainsi, toute la difficulté consiste à expliquer une différence d'intensité dont il nous sera facile de rendre compte un peu plus tard; elle indique une différence dans la modification des corps chauds et des corps électrisés qu'une dernière source d'électricité, dont il nous reste à parler, va mettre dans tout son jour.

Chaleur. Un grand nombre de cristaux, parmi lesquels la tourmaline paraît occuper le premier rang, sont susceptibles d'acquérir la vertu électrique, quand on les chauffe convenablement; mais il faut pour cela que leur température change continuellement; et si on les expose pendant quelque temps au même dégré de chaleur, leur vertu s'affaiblit de plus en plus jusqu'à devenir insensible aux instrumens ordinaires, et n'être pas plus grande que celle d'un corps chaud quelconque. En refroidissant une tourmaline chaude, on lui donne aussi la propriété d'attirer les corps légers.

D'après cela, il est évident que les corps électrisés sont en général plus chauds et quelquefois plus froids à leur surface que dans l'intérieur, puisque, quand on les expose pendant quelque temps au même dégré de chaleur, ce qui permet à l'intérieur de prendre la même température que la surface, ils n'agissent plus que comme des corps simplement chauds. C'est en cela seulement qu'ils diffèrent des corps très-chauds qui le sont dans toute leur masse. Ainsi, le frottement n'est de toutes les sources d'électricité la plus abondante, que parce qu'il s'exerce immédiatement sur la

surface des corps, et met en mouvement les atomes qui la composent ; tandis que l'intérieur n'est échauffé que très-peu par conducibilité, si ce n'est quand le corps frotté est bon conducteur, comme un métal par exemple, cas auquel il n'acquiert d'ailleurs qu'une faible vertu.

La différence *apparente* entre les corps faiblement électrisés et les corps médiocrement chauds ne consistant que dans un léger changement dans l'intensité de l'attraction qu'ils exercent sur les corps faciles à mouvoir, on conçoit qu'il n'est pas possible de fixer au juste les limites du domaine de l'électricité, et de dire à quoi on reconnaît qu'un corps cesse d'être électrisé pour être simplement chaud ; la diminution des effets est ici continue. Mais il n'en est pas de même des corps fortement électrisés ; on reconnaît leur état avec facilité aux vives attractions et répulsions qu'ils produisent, ainsi qu'à d'autres effets auxquels ils donnent naissance, et que nous étudierons plus loin.

SECONDE SECTION.

Propagation de l'électricité.

L'électricité consistant en une chaleur plus ou moins vive à la surface des corps, a beaucoup de ressemblance avec la lumière : elle en diffère cependant en ce que la lumière est une chaleur plus forte et résidant dans une couche moins épaisse. La preuve de la première partie de cette assertion résulte de ce que les corps électrisés ne sont point lumineux dans l'obscurité, quoiqu'ils puissent y exciter de la lumière ; la seconde partie sera suffisamment démontrée quand nous aurons fait voir, en parlant des effets de l'électricité, que si la profondeur à laquelle a lieu ordinairement l'illumination des corps était aussi considérable que celle qui convient pour l'électricité, les corps illuminés produiraient les effets électriques avec beaucoup d'intensité, ce qui n'est pas. Cette ressemblance ou plutôt cette identité de nature nous

dispensera d'expliquer la transmission de l'électricité à distance ; car il est évident qu'elle doit avoir lieu par réfraction comme celle de la lumière.

Conductibilité. L'électricité, de même que la chaleur, peut se transmettre de proche en proche dans les corps (*voy.* page 44, tom. 1^er^) plus ou moins facilement, suivant la forme et l'arrangement de leurs atomes ; mais, comme elle réside dans une couche où les mouvemens atomiques sont très-faciles à exciter, elle se propage quelquefois dans un temps inappréciable jusqu'à des distances très-grandes (*voy.* page 46, tom. 1^er^) : par exemple, un fil métallique soutenu par des cordons de soie bien secs et formant un circuit de plusieurs lieues d'étendue, donne des signes d'électricité par un de ses bouts aussitôt qu'on électrise l'autre bout en lui donnant une étincelle électrique. (*voy.* plus loin *étincelle électrique*).

Il n'en serait pas de même si l'on prenait un tube de verre au lieu d'un fil métallique ; en le touchant avec un corps électrisé, il n'acquerrait la vertu électrique que dans l'endroit touché, à moins que le contact ne fût prolongé, et que l'électricité ne fût très-forte ; cas auquel elle se propagerait lentement de proche en proche jusqu'à une certaine distance. On voit, d'après cela, qu'il y a lieu à partager ici, comme quand nous traitions de la chaleur, les corps en deux classes, comprenant l'une les corps mauvais conducteurs de l'électricité, comme le verre, et l'autre les corps bons conducteurs, comme les métaux.

Dans la première doivent être placés le soufre, la cire, les résines, la gomme laque, la soie, le bois frit dans l'huile bouillante, l'air sec, et, en général, toutes les substances qui s'électrisent fortement quand on les frotte. On peut remarquer qu'elles sont aussi de mauvais conducteurs de la chaleur.

Dans la seconde, on doit placer au premier rang les métaux, puis l'eau et les matières qui en sont imprégnées,

les animaux, les plantes vertes, l'air humide, l'air raréfié par le moyen de la machine pneumatique ou par tout autre, l'air chaud, etc.

Diverses substances comme le pain, le bois sec, etc., tiennent, pour ainsi dire, le milieu, de manière qu'on ne peut les placer ni dans la classe des bons conducteurs, ni dans celle des mauvais conducteurs; leur surface peut transmettre l'électricité jusqu'à de petites distances tout autour du point qui a été touché par un corps électrisé.

Isolement. Le sol et les diverses parties d'un bâtiment conduisent ordinairement assez bien l'électricité; il résulte de là qu'on ne peut électriser aucun corps bon conducteur lorsqu'il touche le plancher, ou qu'il n'en est séparé que par des corps bons conducteurs, parce que l'électricité qu'on lui donne est transmise au plancher, aux diverses parties du bâtiment et au sol environnant. Elle se trouve alors partagée entre des surfaces trop considérables pour que le corps qu'on a eu l'intention d'électriser, et dont la surface n'a point pu communiquer de chaleur sans en perdre (*voy.* page 43, tom. 1^er^), en ait conservé assez pour produire des effets sensibles. Il est donc nécessaire de les *isoler* en les suspendant au moyen de cordons de soie, ou en les posant sur des supports de verre, ou de quelqu'une des autres matières que nous avons indiquées comme conduisant très-difficilement l'électricité, afin qu'ils ne puissent partager avec aucun corps voisin celle qu'on leur communique. Les supports qu'on emploie le plus communément sont des tabourets en bois à pieds de verre, ou des gâteaux de résine ou de cire d'abeilles : la gomme laque est préférable; mais, comme elle est d'un prix beaucoup plus élevé que le verre et la résine, on ne l'emploie que pour les supports d'un petit volume ou pour enduire les supports en verre.

Nous avons dit plus haut que l'air sec est dans les circonstances ordinaires un mauvais conducteur; sans cela,

il est évident qu'on ne pourrait électriser aucun corps, puisque sa surface perdrait son électricité, à mesure qu'on la ferait naître, en la partageant avec l'atmosphère et par son intermédiaire avec la surface terrestre. Cet inconvénient se présente, au reste, les jours de grande humidité; on a alors beaucoup de peine à obtenir une faible électricité, et quelquefois même on n'y réussit pas du tout, parce que l'air devient bon conducteur, ses pores étant remplis de vapeur d'eau, substance qui conduit bien l'électricité.

Nous avons avancé aussi que l'air raréfié et l'air très-chaud sont, comme l'air humide, de bons conducteurs de l'électricité; il est facile de le prouver par des expériences très-simples.

1°. Ayant fait le vide dans un long tube de verre terminé à ses deux bouts par des garnitures en cuivre, on en électrise une en la mettant en contact avec un corps électrisé: en approchant ensuite de l'autre garniture des corps légers, on voit qu'ils sont vivement attirés, ce qui prouve que de l'électricité lui a été communiquée. Le verre étant un mauvais conducteur, il est évident que la transmission n'a pu se faire qu'à travers l'air intérieur que sa raréfaction a rendu bon conducteur; ce qui le prouve incontestablement, c'est qu'on ne voit pas les mêmes effets se manifester quand on répète l'expérience pendant que le tube est rempli d'air sec et ayant sa densité ordinaire.

2°. On approche un morceau de métal isolé assez près de la machine électrique, après l'avoir mise en jeu pour qu'il en tire une étincelle; puis, en le présentant au pendule électrique, on constate qu'il a acquis de l'électricité.

Nous verrons plus loin que dans le phénomène de l'étincelle, l'air est échauffé jusqu'à la chaleur rouge, et qu'il devient capable d'enflammer diverses substances, quand on les soumet à son action; l'électricité, n'étant que de la chaleur, ne peut d'ailleurs lui communiquer aucune autre modification. C'est donc en qualité d'air très-chaud qu'il a pu établir momentanément une communication facile entre

le conducteur de la machine électrique et le morceau de métal isolé. Quand une personne non isolée tire une étincelle de la machine, c'est aussi parce qu'elle établit une communication momentanée entre le sol et le conducteur de la machine qu'elle le désélectrise presque complètement.

La cause de ces effets est la même; l'air très-chaud est comme celui qu'on a soumis à l'action de la machine pneumatique, composé d'atomes qui sont beaucoup plus éloignés les uns des autres qu'à l'ordinaire. C'est pour cela qu'ils reçoivent facilement une augmentation de mouvement, et que leur ensemble conduit bien l'électricité.

Plusieurs autres expériences peuvent être employées pour prouver que l'air chaud est bon conducteur; ce fait devant servir de base à l'explication de plusieurs phénomènes, nous allons rapporter deux d'entr'elles avant d'abandonner ce sujet.

1°. On approche un tube de verre, électrisé par le frottement, à une distance de 7 à 8 pouces d'une bougie allumée, et il perd presqu'aussitôt toute son électricité; elle diminue jusqu'à devenir tout à fait insensible, en se communiquant à la grande masse d'air qui est échauffée par la bougie, et qui s'élève à chaque instant dans l'atmosphère; ce qui n'aurait pas lieu si cette masse n'était pas capable de conduire assez bien l'électricité.

2°. On passe un tube électrisé par le frottement au-dessus d'une plaque de fer ou de tout autre corps chauffé très-fortement; et, en le présentant ensuite au pendule, on constate qu'il a complètement perdu son électricité.

Les physiciens ont encore remarqué que quelques autres substances, principalement celles qui fondent à un faible dégré de chaleur, deviennent moins mauvais conducteurs de l'électricité quand on les échauffe. Il faut donc avoir soin de ne pas placer les supports isolans faits de matières très-fusibles dans des lieux où ils puissent prendre une température élevée. C'est pour la même raison qu'il ne faut pas

attendre un bon effet d'un support résineux qu'on vient de faire, avant qu'il soit tout à fait refroidi.

La propriété qu'a le bois parfaitement desséché et frit dans l'huile bouillante d'être un mauvais conducteur de l'électricité (1), permet de construire des supports de toute espèce qui ne craignent pas la chaleur de l'été, et qui sont très-peu dispendieux. Pour isoler une personne, une paire de sabots ainsi préparés peut suffire ; en s'en procurant un grand nombre, on peut électriser en même temps plusieurs personnes dont la première touche la machine électrique, et qui communiquent toutes entr'elles, soit en se donnant la main, soit au moyen de verges métalliques dont les deux extrémités touchent deux personnes consécutives. En remplaçant dans cette expérience une des verges métalliques par un tube de verre, un cordon de soie ou quelque autre des matières rangées dans la première classe, l'électricité cesse de se transmettre à toute la chaîne : les personnes placées entre la machine et le corps mauvais conducteur sont comme auparavant susceptibles d'attirer les corps légers et de donner des étincelles, quand l'électricité est un peu forte, par toutes les parties de leur corps ; mais celles qui sont au-delà ne peuvent plus produire aucun de ces effets. C'est là un des moyens qu'on peut employer pour constater qu'un corps est mauvais conducteur ; un autre plus simple consiste à mettre le conducteur de la machine électrique en communication avec le sol au moyen de ce corps : si, malgré cela, la machine produit ses effets ordinaires quand on la met en jeu, on en conclura qu'il est mauvais conducteur ; un résultat contraire prouverait évidemment que le corps serait bon conducteur.

Les corps bons conducteurs ne pouvant conserver d'électricité qu'autant qu'ils sont isolés, on ne peut point conclure

(1) C'est le P. Ammersin qui a observé le premier cette propriété du bois préparé, et celle qu'il a d'acquérir une vive électricité quand on le frotte.

de ce que nous avons dit plus haut, (page 213) qu'ils soient incapables de s'électriser par le frottement; il faut évidemment, pour que l'expérience soit concluante, les frotter tandis qu'ils sont isolés; et, en agissant ainsi, on observe que, dans ces circonstances, ils acquièrent une faible vertu.

Il est assez curieux de rechercher pourquoi les métaux n'ont pas besoin, comme quand on veut les électriser, d'être isolés pour qu'un corps lumineux puisse par son action les illuminer : on en trouve la cause dans ce que l'épaisseur de la couche chaude est, comme nous l'avons dit précédemment, beaucoup moins considérable, ce qui fait que les atomes peuvent se mouvoir presque isolément, et qu'une partie de la surface peut être illuminée sans que son mouvement se communique au reste et au sol. Au contraire, la couche dans laquelle réside l'électricité étant plus profonde, se trouve composée d'atomes qui ne peuvent se mouvoir indépendamment les uns des autres, chacun d'eux étant environné de toutes parts d'un grand nombre d'atomes; c'est pour cela que si le corps est bon conducteur, une partie de la couche ne peut pas être échauffée sans que sa chaleur se transmette au reste et au sol, si le corps n'est pas isolé.

Action à distance. L'électricité se transmet à distance en se réfractant à travers l'air, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer : il est facile de s'en assurer; il suffit pour cela d'approcher de la machine électrique, après l'avoir mise en jeu, un morceau de métal isolé; on remarque, en en approchant le pendule, qu'il acquiert la vertu électrique à une distance de plusieurs décimètres, et qui peut être beaucoup plus considérable quand l'électricité est très-forte. Elle se réfracte aussi à travers les autres substances, et surtout les bons conducteurs; mais nous ne pouvons pas affirmer qu'elle suive exactement les mêmes lois que la lumière (1).

(1) Jusqu'à présent, le temps nous a manqué pour nous livrer à

Quoi qu'il en soit, ce fait se prouve facilement en disposant à la suite les uns des autres plusieurs conducteurs isolés, comme le représente la *fig.* 119; de manière que le premier *c d* soit à une distance convenable du conducteur *a b* de la machine pour s'électriser par réfraction et sans recevoir d'étincelles. En les examinant ensuite avec attention, voici ce qu'on observe : le pendule qu'on présente successivement aux diverses parties de ces conducteurs fait voir que le premier est électrisé en *c* dans la partie de sa surface la plus voisine de la machine; qu'il ne l'est pas sensiblement dans un endroit un peu plus près de *c* que son milieu, et qu'il l'est en *d* dans la partie de sa surface opposée à *c*. Les autres conducteurs sont dans le même état, de sorte que leur ensemble peut être comparé à une suite de morceaux de verre à travers lesquels on ferait passer un rayon lumineux qui n'illuminerait que les parties extrêmes.

Pour que cette expérience ne laisse aucun doute, il vaut mieux, au lieu d'approcher le pendule de la partie *c*, la toucher avec un petit disque de clinquant isolé au moyen d'un manche de gomme laque, et présenter ensuite ce petit disque qu'on nomme un plan d'*épreuve*, au pendule, pour voir si la partie touchée dont elle a dû partager l'état est électrisée. Par là on évite l'incertitude qui résulterait de ce que le pendule est attiré, quand on le présente en *c*, en même temps par le corps qu'on examine, et plus fortement par la machine.

TROISIÈME SECTION.

Effets de l'électricité, moyens employés pour la mesurer, ses principales applications.

Effets de l'électricité. Les effets de l'électricité sont : d'exciter dans l'air divers courans qui peuvent entraîner les

---

des recherches sur ce sujet qu'il serait curieux et peut-être utile de bien connaître, ainsi que sur les lois suivant lesquelles s'effectue la réflexion de l'électricité.

corps légers dans différens sens, et faire naître des attractions et répulsions apparentes ; de produire dans l'air des aigrettes lumineuses ; de donner des étincelles avec bruit et lumière ; d'agir sur les êtres animés de manière à augmenter la transpiration, et à leur faire ressentir, dans certains cas, des piqûres et des commotions plus ou moins fortes ; de percer, fendre, déchirer certains corps ; d'accélérer l'écoulement des liquides par les tuyaux capillaires ; de changer l'état des corps en les faisant passer de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état de vapeur ; de dilater sensiblement certains corps ; d'enflammer les plus combustibles ; de déterminer un grand nombre d'actions chimiques ; d'aimanter les substances magnétiques, etc. Nous allons les étudier successivement, et en démontrer la réalité par des expériences.

Courans produits dans l'air par les corps électriques. Les corps passablement électriques ayant leur surface très-chaude doivent échauffer l'air qui les touche, et exciter dans ce fluide des courans plus ou moins rapides ; ces courans jouant un rôle important dans presque tous les effets de l'électricité, c'est par eux que nous devons en commencer l'étude.

Soit E, *fig.* 120, une section d'un corps électrique, et *a b* une ligne qui marque la profondeur jusqu'à laquelle ce corps est beaucoup plus chaud que dans son intérieur ; l'action qu'il exerce sur l'air voisin est facile à déduire des connaissances précédemment acquises. Il est évident que l'air qui se trouve en contact avec lui doit être fortement échauffé ; mais, quant à l'air qui est situé même à une petite distance, il ne l'est pas sensiblement, parce que la masse chaude étant peu considérable, son action diminue très-rapidement quand la distance augmente. C'est ainsi, par exemple, qu'un charbon d'un volume très-petit brûle la main de celui qui le touche, et cesse presque complètement de l'échauffer, aussitôt qu'il s'en éloigne même très-peu ;

tandis qu'un grand brasier, dont la température n'est cependant pas plus élevée, fait sentir son action jusqu'à une distance assez considérable. Ce fait qui paraît d'abord fort peu important est la cause d'une grande partie des phénomènes électriques qu'il détermine en excitant dans l'air des courans particuliers dont on peut prouver l'existence par le raisonnement et par l'expérience.

Supposons d'abord qu'il n'y ait de chaude qu'une portion très-petite *c d e f* de la surface; elle échaufferait brusquement l'air qui la toucherait, et cet air *d f m n*, en se dilatant avec force, prendrait un volume plus grand, de sorte qu'une partie sortirait de l'espace *d f m n*, et viendrait en *m n q p* avec une vîtesse qui tendrait à l'éloigner du corps, d'autant plus rapidement que la chaleur serait plus forte : en vertu de la vîtesse acquise, cette partie dépasserait ensuite *m n p q*, et l'air échauffé se trouverait dilaté plus qu'il n'aurait dû l'être en raison de l'élévation de sa température. L'air voisin remplirait le vide ainsi occasionné, puis il serait lui-même échauffé et dilaté brusquement; ce qui reproduirait les effets précédens qui se continueraient de cette manière jusqu'à ce que la surface *c d e f* fût refroidie. D'après cela, on voit qu'il s'établirait dans ces circonstances un courant d'air qui irait en s'éloignant du corps électrisé, et prendrait naissance vers sa surface; c'est à ce courant que nous donnerons par la suite le nom de *courant supernascent*.

Supposons maintenant que la surface soit composée d'un très-grand nombre de parties chaudes analogues à *c d e f*, et séparées par des parties froides. Outre les courans supernascens qui s'établiraient alors vers chaque partie chaude, et qui sont représentées en *c e r s*, l'air qui viendrait à chaque instant remplir le vide partiel occasionné comme nous l'avons dit plus haut, formerait entr'eux d'autres courans qui iraient au contraire en se rapprochant du corps électrisé, et que nous appellerons *courans alimentaires*.

Si nous considérons enfin, pour rentrer dans la réalité, le cas où la surface électrisée est toute entière plus chaude

que l'intérieur, les effets seront à peu près les mêmes ; il se produira encore un très-grand nombre de courans de la première et de la seconde espèce, parce que les courans supernascens qui tendront à s'établir dans chaque point de la surface n'ayant jamais des forces parfaitement égales, les plus forts l'emporteront, et par le vide qu'ils produiront, appelleront l'air extérieur qui viendra les alimenter en surmontant les plus faibles et en les remplaçant par des courans alimentaires.

Ainsi se trouve démontrée par le raisonnement la proposition suivante : *Tout corps électrisé plongé dans l'atmosphère y excite un très-grand nombre de courans supernascens qui déterminent d'autres courans par lesquels ils sont alimentés.*

L'expérience nous offre aussi un moyen sûr et direct d'en démontrer l'exactitude. Quand un corps est un peu fortement électrisé, il fait sentir, si on en approche la joue ou le revers de la main, un léger vent qui vient du côté où il se trouve, et qui n'est autre chose que l'ensemble de ces courans supernascens dont nous avons indiqué précédemment les causes. Quant aux courans alimentaires, leur existence est une conséquence rigoureuse de celle des courans supernascens qui ne pourraient pas s'établir, si l'air qui s'éloigne sans cesse du corps n'était pas à chaque instant remplacé.

En réfléchissant sur ce que nous venons de dire, on voit maintenant que les corps chauds qui agissent sur l'air à une distance bien plus grande que les corps électrisés, puisqu'ils sont chauds dans toute leur masse, ne doivent pas comme eux produire des courans supernascens énergiques ; parce que l'air qui arrive au contact n'éprouve plus une brusque augmentation de volume, s'étant lentement échauffé à mesure qu'il s'approchait. D'ailleurs, ce sont les courans supernascens qui règlent les courans alimentaires. Cette remarque suffit pour rendre raison de la différence d'intensité qu'on observe entre les attractions et les répulsions produites par les corps chauds et les corps électrisés (*voy.* pag. 214) ;

car ces effets ne reconnaissent pas d'autres causes que les courans dont il s'agit.

Attractions et répulsions électriques. Les attractions et répulsions électriques ne sont qu'apparentes; elles n'ont pas lieu, comme le mouvement des corps qui se rapprochent de la terre, en vertu d'une propriété inhérente à la matière ou à quelque portion de matière. Elles peuvent être comparées, avec plus de raison, à l'attraction et à la répulsion qu'une fenêtre ouverte d'une chambre où l'on a fait du feu semble exercer sur la flamme d'une bougie qu'on approche successivement de sa partie supérieure et de sa partie inférieure. La différence consiste pour les attractions électriques en ce que le mouvement du corps léger qui se rapproche du corps électrisé placé à peu de distance, a lieu en vertu de l'excès de force d'un courant sur un autre: du courant alimentaire sur le courant supernascent.

La force relative de chacun de ces courans est d'ailleurs susceptible de varier dans diverses circonstances : le courant alimentaire est communément le plus fort, et détermine l'attraction qu'on observe quand on approche un corps électrisé d'un corps non électrisé; mais il peut quelquefois devenir le plus faible, et alors, au lieu d'une attraction, on obtient une répulsion immédiate. (Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale, tom. 6, pag. 414, 3e édit.). Cela arrive, par exemple, lorsque l'électricité étant vive, on cherche à faire agir le corps qui en est doué sur un corps léger, mais présentant malgré cela une assez grande étendue, qui égale au moins celle d'un petit écu. Il est fort ordinaire de voir dans ce cas la répulsion se manifester aussitôt, pourvu toutefois que le corps léger, s'il est en feuille, se présente de face. Les causes de ces irrégularités sont difficiles à analyser avec précision; cependant, quoiqu'on ne puisse pas calculer au juste l'intensité de ces effets, on conçoit très-bien que le corps non électrisé s'oppose à l'arrivée de l'air qui vient de toutes parts au corps électrisé pour former les courans alimentaires, et cela d'autant plus

efficacement qu'il est plus étendu, de sorte qu'un corps très-petit ne gêne pas sensiblement ces courans. De là il peut résulter que, dans l'un de ces cas, le courant alimentaire l'emporte sur le courant supernascent; et que, dans l'autre, ce dernier éprouvant de la part du corps non électrisé un obstacle moins efficace, l'emporte au contraire sur le courant alimentaire.

L'attraction électrique s'observe aussi dans le cas où l'on présente à un corps léger électrisé un corps quelconque non électrisé : une feuille d'or qu'on a touchée avec un tube de verre ou un bâton de soufre frotté, est attirée quand on lui présente le doigt ou tout autre corps pendant qu'elle voltige en l'air. Pour bien en concevoir la cause, il faut se rappeler que le corps non électrisé gêne les courans alimentaires, et par suite les courans supernascens qui ne sont plus aussi abondamment pourvus d'air à chaque instant. Or, les courans supernascens étant dus à l'air qui se dilate avec violence à chaque instant auprès de la surface du corps électrisé, et dont la première couche s'appuie sur cette surface pendant sa dilatation, doivent repousser cette surface et produire une espèce de recul; cette répulsion doit être plus vive, là où les courans supernascens sont plus forts. Dans le cas qui nous occupe maintenant, le corps sera donc repoussé plus fortement du côté opposé au corps non électrisé, que dans la direction où se trouve ce dernier corps; c'est pour cela qu'il s'en rapproche.

Une expérience assez intéressante peut d'ailleurs servir à prouver le recul causé par les courans supernascens :

On électrise une pointe métallique isolée, et sur laquelle on a posé un fil métallique dont la forme est indiquée par la *fig.* 121; les parties *a* et *b* sont pointues, et en *c* le fil est percé jusqu'aux trois quarts de son épaisseur d'une ouverture destinée à recevoir la pointe dont il s'agit. Pour peu que l'électricité ait de force, on voit les pointes reculer avec une vîtesse croissante, et bientôt le petit appareil prend un mouvement de rotation très-rapide, et qui ne cesse

que quand l'électricité devient très-faible. Cet effet est dû à ce que vers les pointes l'électricité excite toujours des courans plus forts qu'ailleurs, la couche chaude étant plus épaisse à cause de la réunion des surfaces opposées (voy. *fig.* 122, où *a b c d*, *a m n p* représentent les couches chaudes); ce qui occasionne un recul plus fort en *a* qu'en *d*, et en *b* qu'en *e*.

Ayant examiné tous les cas qui peuvent se présenter lorsque l'un des deux corps seulement est électrisé, nous devons considérer maintenant l'action mutuelle de deux corps électrisés.

S'ils le sont également, ou plutôt s'ils excitent dans l'atmosphère des courans d'égale force (1), et qu'ils soient placés dans le voisinage l'un de l'autre, les courans supernascens de chacun d'eux serviront de courans alimentaires à l'autre ; il en résultera que les courans supernascens seront plus abondamment fournis d'air dans la direction qui joint les deux corps, puisque les courans alimentaires y seront plus rapides qu'ailleurs, étant produits par deux causes ; et, par suite, ils auront plus de force et occasionneront un recul plus violent vers les parties des surfaces des deux corps qui se regardent, que vers les parties opposées. De là vient la répulsion qu'on observe dans ce cas.

Quand les courans excités dans l'air par les deux corps sont inégaux en force, il peut arriver, suivant que la quantité dont ils diffèrent est très-grande ou très-petite, que les courans les moins forts soient insensibles par rapport aux courans les plus forts, et qu'alors une attraction se manifeste comme si l'un des deux corps n'était pas électrisé ; ou bien il peut arriver que, par les causes indiquées précédemment, il y ait une répulsion, comme si les corps étaient également électrisés; mais alors elle est moins vive.

---

(1) La force des courans dépend de plusieurs causes que nous examinerons plus loin, comme le dégré d'électricité plus ou moins fort, la conducibilité du corps, sa forme, etc.

Tous ces effets conduisent aux propositions suivantes :

1°. *Deux corps, dont un seulement est électrisé, exercent l'un sur l'autre une attraction mutuelle apparente, si ce n'est dans quelques cas particuliers où ils paraissent se repousser* (1).

2°. *Deux corps électrisés exercent l'un sur l'autre une répulsion apparente, lorsqu'ils excitent dans l'air des courans qui ne sont pas trop inégaux en force; ils paraissent s'attirer au contraire lorsque les courans excités par l'un d'eux ont beaucoup moins de force que les courans excités par l'autre.*

Quant à la force des courans, il est évident, d'après l'explication que nous avons donnée, qu'elle est d'autant plus grande que la chaleur de la couche où réside l'électricité est elle-même plus considérable : l'épaisseur de cette couche influe aussi; plus elle est grande et plus les courans sont forts, mais seulement jusqu'à une certaine limite, passé laquelle une nouvelle augmentation d'épaisseur occasionne une diminution dans la force des courans ; puisque les corps chauds, dont toute la masse est à une température élevée, produisent, par des causes énoncées précédemment, des courans bien plus faibles que les corps électrisés. Outre cela, nous avons prouvé plus haut que les corps pointus donnent naissance à des courans plus énergiques ; il en est de même et par les mêmes raisons des corps dont la forme se rapproche plus d'être pointue : ainsi un corps terminé à son extrémité par une surface hémisphérique excite dans l'air des courans d'autant plus rapides, que le rayon de cette hémisphère est plus petit; et, de deux petites balles métalliques qui ont été mises en contact, et qui sont par conséquent également électrisées, celle-là excite des courans

(1) Nous avons vu pag. 222 que tout corps électrisé agissait à distance sur les corps voisins : ainsi, on n'observe jamais, si l'on veut parler rigoureusement, d'action entre un corps électrisé et un corps non électrisé, mais bien entre un corps électrisé et un corps *très-peu* électrisé.

plus vifs qui a le plus petit rayon. Enfin, toutes choses égales d'ailleurs, les bons conducteurs produisent des courans plus forts, et qui se font sentir de plus loin que ceux qui sont excités par les mauvais conducteurs. Cela vient, si nous concevons la couche où réside l'électricité partagée en plusieurs parties, en trois par exemple, de ce que la première verra dans le corps bon conducteur ses pertes réparées par les deux autres à mesure que l'air les lui fera éprouver, de manière qu'elle sera maintenue constamment à une température à peu près égale à celles de ces deux couches ; tandis que, dans le corps mauvais conducteur, la première couche sera toujours moins chaude, parce que les pertes que l'air lui fera éprouver ne seront qu'imparfaitement réparées à chaque instant par les deux autres couches. Les corps bons conducteurs peuvent donc exciter, toutes choses égales d'ailleurs, des courans plus énergiques que les corps mauvais conducteurs ; mais, par suite, ils perdent nécessairement leur électricité plus promptement.

Ces notions fournissent les explications de tous les phénomènes d'attraction et de répulsion électrique ; en y joignant toutefois la connaissance du courant ascendant qui s'établit lorsque deux corps électrisés sont en présence l'un de l'autre : dans ce cas, l'air qui ne s'échaufferait pas sensiblement auprès d'un seul corps électrisé, allant de l'un à l'autre un certain nombre de fois, finit par acquérir une température plus élevée et prendre un mouvement d'ascension qui, tendant à soulever les corps électrisés, diminue leur poids, et rend par conséquent la répulsion ou l'attraction plus vive en apparence. C'est ce qui résulte d'une expérience faite dans le dessein de vérifier notre théorie : un morceau de soufre ayant été électrisé par le frottement, fut mis en contact avec la boule d'un pendule dont le fil de suspension était en soie (mauvais conducteur), et cette boule ainsi électrisée par le contact fut ensuite repoussée à une assez grande distance. Pour constater que le courant ascendant, en soulevant la boule et lui faisant perdre une

partie de son poids, était cause de la grande intensité apparente de la répulsion, on plaça à peu de distance, sous le bâton de soufre qui était horizontal et le pendule, une feuille d'un corps quelconque, de verre, de papier, de fer blanc, etc., afin de gêner ce courant : et la répulsion diminua considérablement, sans que cependant le dégré d'électricité fût devenu beaucoup moindre, puisque, quand on enlevait l'obstacle au courant ascendant, la répulsion redevenait à peu près ce qu'elle avait été d'abord. Nous devons avouer cependant que cette expérience ne réussit pas toujours également bien ; son succès complet nous a paru dépendre du poids et de la grosseur de la boule, ainsi que du dégré d'électricité et de la longueur du fil de suspension du pendule ; cette longueur doit être assez grande pour que l'électricité de la balle ne puisse pas se perdre pendant la durée de l'expérience, et ne pas l'être plus, parce que, quand le fil de suspension est très-long, l'écartement est toujours trop faible pour que l'angle qu'il fait alors avec la verticale ne soit pas très-petit ; et conséquemment le poids de la balle ne joue dans ce cas presqu'aucun rôle.

Danse des pantins et expériences analogues. Comme application des principes que nous venons d'exposer, nous devons rapporter maintenant quelques-unes des dispositions curieuses adoptées par les physiciens pour manifester les attractions et répulsions électriques. Une de celles qui excitent le plus de surprise est indiquée dans la *fig.* 123 : en *a b* se trouve une plaque métallique horizontale suspendue au conducteur de la machine électrique ; au-dessous et à une distance convenable, est placé un support métallique non isolé, et terminé aussi par un disque horizontal *c d* ; une petite figure en moëlle de sureau étant placée sur le disque inférieur, on met la machine électrique en jeu. Cette figure monte d'abord attirée par le disque supérieur qui est électrisé (*voy.* pag. 230 1°) ; elle va toucher ce disque et s'électrise elle-même par ce contact ; puis elle redescend, tant en

vertu de son poids, que parce qu'elle est repoussée par le disque supérieur (*voy.* pag. 230 2°) et attirée par le disque inférieur (*voy.* pag. 230 1°). Elle revient donc toucher le support, et par son intermédiaire elle partage avec le sol environnant son électricité (la moëlle de sureau est un bon conducteur), qui devient par conséquent insensible. Les circonstances étant alors les mêmes qu'au commencement de l'expérience, les mêmes effets se reproduisent, et le pantin danse en allant ainsi toucher alternativement les deux disques pendant autant de temps que dure l'électricité.

On peut varier cette expérience d'un grand nombre de manières, faire osciller une feuille d'or entre la main et un tube de verre électrisé par le frottement, ou un pendule à boule de métal, et dont le fil de suspension soit en soie entre deux timbres, dont l'un (*fig.* 125) reçoit de l'électricité de la machine électrique avec laquelle il communique au moyen d'une chaîne de métal, et dont l'autre est suspendu au moyen d'un fil de soie, et communique avec le sol par une chaîne métallique. Dans ce dernier cas, les chocs produisent des sons qui se succèdent assez rapidement quand le dégré d'électricité est convenable; c'est pour cela que cet appareil a reçu le nom de *tarillon électrique*.

Lorsqu'on présente au conducteur d'une machine électrique un pendule mal isolé, ayant, par exemple, un fil de suspension en soie un peu humide ou d'une longueur insuffisante, on peut observer aussi des oscillations sans qu'il soit nécessaire que le pendule aille toucher un corps non isolé. Il va frapper d'abord le corps électrisé par lequel il est attiré; puis, l'ayant touché, il s'en éloigne; mais, après un petit instant, son électricité s'est transmise lentement au sol par le fil de suspension, et il est attiré de nouveau par le conducteur, qui le repousse de nouveau après en avoir été choqué; et ainsi de suite. Quand le pendule est bien isolé, l'attraction est suivie d'une répulsion qui subsiste pendant long-temps. Beaucoup de faits analogues

s'expliquent aussi par les mêmes principes dont l'application est toujours facile ; nous allons encore en donner quelques exemples :

1°. Un bâton de soufre étant frotté, on l'approche d'un pendule isolé et on observe une attraction : après le contact il y a ordinairement répulsion ; mais si le soufre a été faiblement électrisé, la balle du pendule s'en étant approchée jusqu'à le toucher ne s'en sépare pas, et si on l'en détache elle y revient, pourvu que la distance ne soit pas trop considérable. On peut obtenir une répulsion immédiate en électrisant le soufre plus vivement, et le présentant de nouveau au pendule avant que celui-ci ait perdu toute son électricité.

L'attraction qu'on observe d'abord vient de ce que la balle du pendule après le contact excite dans l'air des courans plus rapides que le bâton de soufre (*voy.* pag. 230 1°), quoiqu'elle ne soit pas électrisée plus fortement, et cela est dû, tant à ce qu'elle est un bien meilleur conducteur, qu'à ce qu'elle est moins grosse. En donnant ensuite au soufre une plus forte électricité, il devient capable de produire des courans à peu près aussi forts que ceux qui sont occasionnés par la balle, et de là résulte la répulsion qu'on observe alors (*voy.* pag. 230 2°).

« 2°. On met en équilibre (1) sur un pivot une petite verge de bois qui peut avoir 15 ou 16 pouces de longueur, pointue par un bout et armée par l'autre d'une petite boule de bois d'un pouce de diamètre ou environ ; on place cet instrument ainsi préparé à portée d'un homme qu'on électrise, et qui tient en sa main un morceau de bois tourné, gros et arrondi par un bout comme une demi-boule d'un pouce de diamètre, et pointu par l'autre extrémité. Si cet homme présente ce morceau de bois par le gros bout à la boule qui est à l'une des extrémités de l'aiguille, le plus souvent cette boule est repoussée ; il l'attire au contraire

(1) Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale.

presque toujours, s'il présente le morceau de bois par la pointe. On voit tout le contraire si l'on fait l'expérience par l'autre côté de l'aiguille; le morceau de bois électrisé et présenté par le gros bout l'attire; et si c'est la pointe du morceau de bois que l'on présente, il est fort ordinaire que cette partie soit repoussée ».

Nous avons déjà vu (pag. 222) que tout corps placé à une distance convenable d'un corps électrisé s'électrise lui-même avec plus ou moins de force; les boules et les pointes qui se trouvent agir les unes sur les autres dans cette expérience sont donc toutes électrisées, et excitent conséquemment des courans plus ou moins énergiques dans l'air environnant. Si l'on présente deux boules l'une à l'autre, elles s'attirent lorsque l'électricité est faible, parce que la boule non isolée produit des courans moins forts; mais quand, au contraire, l'électricité est vive, comme cela doit être, pour que l'expérience donne les résultats obtenus par M. Jallabert, on observe communément une répulsion, parce qu'alors la différence des courans est faible, eu égard à leur force. Relativement aux pointes, on peut faire les mêmes réflexions. Enfin, dans le cas où l'on présente une pointe à une boule, la pointe produisant, à cause de sa forme, des courans plus forts que la boule, une attraction se manifeste.

3°. On présente un tube de verre frotté aussi également qu'il est possible dans une certaine partie de sa longueur à différens corps suspendus sur une même ligne par des fils égaux, comme une petite feuille de métal, une feuille de papier, une feuille de cire, etc., et l'on a soin de faire en sorte que les dimensions et les poids de ces feuilles approchent autant qu'il est possible de l'égalité.

On remarque que, dans ces circonstances, les meilleurs conducteurs sont toujours plus fortement attirés et de plus loin; et si l'on électrise tous ces différens corps en les touchant avec le tube, les répulsions seront aussi plus fortes à l'égard des meilleurs conducteurs,

Cela vient, quant à l'attraction, de ce que les corps bons conducteurs, s'électrisant à distance, produisent par les causes indiquées précédemment des courans plus énergiques : entr'eux et le tube, il s'établit un courant ascendant qui favorise l'attraction (*voy.* pag. 231), parce qu'il leur fait perdre une partie de leur poids, et peut-être aussi parce qu'il les attire, de même que le courant d'air qui monte dans une cheminée attire la flamme d'une bougie qu'on place devant le foyer. Quant à l'intensité de la répulsion, on en concevra la cause, si l'on considère que les corps mauvais conducteurs s'électrisent faiblement par le contact quand il n'est pas très-prolongé ; précisément parce que l'électricité ne se transmet que difficilement des parties touchées aux parties voisines.

4°. Un homme qu'on électrise étendant les deux mains horizontalement, on présente au-dessous de l'une d'elles un support en métal sur lequel on a posé de petites feuilles de métal, et au-dessous de l'autre un support en verre pareillement garni de petites feuilles en métal. On approche ensuite graduellement ces deux supports des mains de la personne électrisée, et l'on voit que les feuilles de métal qui sont sur le premier support sont attirées constamment de plus loin que les autres.

Tous ces corps sont électrisés également à distance par l'action des mains de la personne qui fait l'expérience, si ce n'est le support en verre qui l'est moins ou plutôt qui ne l'est pas assez pour produire des courans aussi forts : de là il suit que le support en métal repousse les feuilles de métal qui le touchent, et par conséquent favorise l'attraction, tandis que le support en verre attire celles qui le recouvrent, et s'oppose conséquemment à leur mouvement. Cette explication s'applique aussi à un autre fait entièrement semblable, que voici :

Après avoir approché du conducteur de la machine électrique un pendule qui est aussitôt attiré, on lui présente, du côté opposé à la machine, le bout du doigt ou tout

autre corps bon conducteur, et l'on observe qu'il paraît attiré plus fortement par la machine. Toutefois ce fait n'est pas très-constant; la grosseur et la nature de la balle, la longueur et le plus ou moins de sécheresse du fil de soie qui la tient suspendue, la forme du conducteur qu'on place derrière elle, la distance qui l'en sépare, le dégré d'électricité, sont autant de circonstances qui peuvent changer les effets et en faire voir de contraires. Les attractions et les répulsions électriques sont d'ailleurs presque toutes dans le même cas, et il n'est guère de phénomènes de ce genre qu'on ne puisse changer complètement en apportant dans les circonstances de légères différences quelquefois inappréciables; c'est une suite de ce qu'ils sont produits par des courans dont une foule de causes peuvent faire varier la force. Il ne faut donc pas s'étonner si les physiciens sont si peu souvent d'accord sur cette classe de phénomènes; mais, afin de prévenir un pareil inconvénient, il est indispensable d'analyser et de décrire avec un grand soin toutes les circonstances dans lesquelles on observe une attraction ou une répulsion; encore arrivera-t-il quelquefois que l'un de ces deux effets se trouvera remplacé par l'autre, sans qu'on puisse apercevoir aucune différence dans la manière de procéder, tant il faut peu de chose pour changer l'intensité relative des courans.

Jusqu'à présent nous ne nous sommes occupés que des courans excités par les corps électrisés, dont la surface est plus chaude que l'intérieur. Quand, au contraire, elle se trouve plus froide (*voy.* pag. 215), son action sur l'air détermine encore des courans analogues aux courans supernascens et alimentaires, mais d'une manière contraire. Nous laisserons à nos lecteurs le soin de faire pour ce cas une démonstration analogue à celle de la page 225; ce sera pour ceux qui commenceront l'étude de l'électricité un exercice profitable.

Les causes que nous venons d'assigner aux attractions et répulsions électriques nous prouvent évidemment que, dans

le vide, elles ne doivent jamais se manifester, puisqu'alors il ne peut plus y avoir de courans; c'est aussi ce que les physiciens admettent. A la vérité, quand on tente l'épreuve, on observe bien ordinairement quelques légers mouvemens, mais cela vient de ce qu'il n'est pas possible de faire un vide parfait; la diminution des effets est assez considérable, pour qu'on doive admettre qu'ils seraient nuls s'il y avait absence complète de gaz.

Etincelles électriques. Le phénomène de l'étincelle est un des plus curieux parmi tous ceux que l'électricité peut produire. Il se manifeste toutes les fois qu'on approche d'un corps électrisé assez fortement, un autre corps non électrisé ou seulement moins électrisé; mais pour qu'il s'offre dans tout son éclat, il faut que les deux corps soient bons conducteurs, et que le dernier ne soit pas isolé : par exemple, une personne placée immédiatement sur le plancher, et qui approche le doigt du conducteur d'une machine électrique, réalise ces circonstances, et détermine une étincelle qui lui fait éprouver une sensation de douleur, et qui est accompagnée de bruit et de lumière. Cette étincelle est d'autant plus forte et part à une distance d'autant plus grande que l'électricité est elle-même plus forte, et que le conducteur de la machine a plus d'étendue.

Après ce que nous avons dit précédemment, l'explication de ces effets sera facile à saisir.

Le doigt de la personne non isolée est électrisé à distance par le conducteur de la machine; après quoi, l'air qui les sépare se trouvant entre deux corps électrisés, s'échauffe de plus en plus jusqu'à devenir bon conducteur (*voy.* pag. 220). Une communication facile se trouve donc établie entre le conducteur de la machine et les parties du sol environnantes; et l'électricité, se transmettant alors à des surfaces considérables, s'affaiblit tellement qu'elle devient insensible. A cet instant, l'air se refroidit et éprouve subitement une grande diminution de volume. Il est ensuite

échauffé de nouveau, jusqu'au point de devenir lumineux; par la compression (*voy.* tom. 1^er^, pag. 34) violente que lui fait subir l'air voisin qui se précipite de toutes parts pour remplir le vide ainsi produit. Pendant le temps très-court de la durée de ce vide, une partie du doigt se trouve fortement aspirée, et la sensation de douleur en est une conséquence.

Quant au bruit, il s'explique de la même manière que celui qui est produit toutes les fois qu'un vide existe momentanément dans l'atmosphère.

Le vide détermine d'abord une ondulation raréfiée (*voy.* pag. 293, tom. 1^er^); puis l'air environnant qui s'est précipité de toutes parts avec violence pour le remplir, s'étant condensé lui-même à cause de la vîtesse de son mouvement, se dilate rapidement en vertu de sa grande tension, et produit une onde condensée. Cette dilatation, à cause de la vîtesse acquise par les particules d'air pendant qu'elle s'effectue, va jusqu'à occasionner un nouveau vide qui reproduit les mêmes effets; de sorte que des ondulations alternativement condensées et raréfiées se succèdent dans l'atmosphère, et produisent la sensation, jusqu'à ce que le mouvement se soit affaibli assez pour être insensible à l'organe.

Pour appuyer cette explication, on peut d'ailleurs démontrer par une expérience la production d'un vide momentané. Il suffit pour cela de remplacer le doigt par un petit vase contenant de l'eau ou tout autre liquide; on voit dans ce cas, au moment où l'étincelle part, une petite colonne fluide qui s'élève quelquefois jusqu'au conducteur, poussée par la pression atmosphérique qu'elle ne supporte plus qu'en partie à cause du vide produit, et qui s'exerce entière sur le reste du liquide.

Lorsque le corps qu'on approche du conducteur électrisé pour exciter une étincelle est lui-même isolé, les effets sont moins intenses, parce que la communication qui existe momentanément entre ces deux corps ne produit plus la désélec-

trisation complète qui permettait à l'air de se refroidir brusquement.

La force de l'étincelle dépend aussi de l'étendue du conducteur ; plus sa surface est grande et plus l'étincelle est forte. Cela vient de ce que l'air est alors échauffé en plus grande quantité et plus fortement, ce qui occasionne ensuite un vide plus étendu et plus parfait.

Quand l'électricité est très-forte, on observe encore quelquefois de petites étincelles qui sont excitées vers la surface des corps électrisés, sans que l'approche d'aucun autre corps les détermine. Elles sont dues à ce que l'air formant les courans supernascens s'échauffe dans certaines directions, assez pour devenir bon conducteur, et se trouve ensuite séparé du corps électrisé, parce qu'il arrive souvent que les courans supernascens sont irrégulièrement remplacés par des courans alimentaires : or, on conçoit que cet air peut quelquefois être à une température assez élevée pour déterminer une étincelle pendant son prompt refroidissement (*voy.* pag. 238). Si la forme du conducteur est celle d'une pointe, il agit alors plus fortement sur l'air qui se trouve dans toutes les directions ; il excite une multitude prodigieuse de petites étincelles qui se succèdent sans interruption, et qui forment une belle *aigrette* composée de rayons divergens plus ou moins écartés les uns des autres, suivant les circonstances. La longueur de ces aigrettes varie avec le dégré d'électricité ; elle ne manque pas d'augmenter aussi quand on en approche la main ou un bon conducteur quelconque ; et cela vient de ce que l'air qui est entre deux corps électrisés peut s'échauffer dans une plus grande étendue que quand il n'y en a qu'un seul. Dans ce dernier cas, nous avons même vu qu'ordinairement sa température ne s'élevait pas d'une manière sensible (*voy.* pag. 231) ; ce n'est qu'autant qu'un grand dégré d'électricité ou une forme très-favorable (se rapprochant de la forme pointue) supplée à ce qui manque du côté des circonstances, que de faibles étincelles peuvent alors se manifester.

Dilatation des gaz. Dans le phénomène de l'étincelle, l'air étant fortement échauffé, on conçoit qu'il doit se dilater d'une quantité sensible ; et, en effet, plusieurs expériences peuvent servir à le prouver :

1°. On peut, au moyen de l'instrument en ivoire (1), représenté *fig.* 124, lancer une petite balle de la même matière, en faisant éclater dans son intérieur une étincelle entre l'extrémité d'un conducteur qui reçoit l'électricité, et l'extrémité d'un autre conducteur qui communique avec le sol. Au moment où elle part, l'air en se dilatant fait sauter la balle. Cet instrument a reçu le nom de *mortier électrique.*

2°. On met en jeu la machine électrique, après avoir mis en communication avec son conducteur la partie *a* du *thermomètre de Kinnersley*, représenté *fig.* 126. Cet appareil consiste essentiellement en un tube recourbé contenant du mercure dans ses deux branches, dont une est fermée par un bouchon à travers lequel passe une tige métallique *b*, qui aboutit dans l'intérieur à peu de distance d'une autre tige *b'* communiquant avec le mercure, et par suite, au moyen de la monture avec le sol. A l'instant où l'étincelle part entre les deux boules *b'* et *b*, l'expansion de l'air chasse le mercure dans la branche *tt'*, où son élévation peut servir à la mesurer grossièrement.

Inflammations. Combinaisons. L'étude complète de l'influence de l'électricité ordinaire sur les combinaisons et les décompositions chimiques, ne peut point trouver place ici ; nous devons nous borner à citer quelques exemples, afin de constater une analogie de plus entre la chaleur et la cause des phénomènes qui nous occupent.

Première expérience. On approche du conducteur de la machine électrique une cuillère en métal dans laquelle on a versé un peu d'un liquide inflammable, de l'éther par exemple, et l'on met la machine en jeu afin d'exciter une

(1) L'ivoire est un mauvais conducteur ou corps isolant.

étincelle entre ce liquide et la partie du conducteur qui en est le plus voisine. Si l'électricité est assez forte, le liquide s'enflamme pendant son contact avec l'air lumineux.

Seconde expérience. On introduit du gaz hydrogène mélangé de gaz oxigène, ou simplement d'air, dans un petit vase métallique appelé *pistolet de volta*, dont la forme peut être quelconque (*voy. fig.* 127), mais dont la paroi doit être percée d'une ouverture dans laquelle on a assujetti un petit tube de verre qui donne passage à une tige métallique aboutissant à peu de distance de la partie de la paroi opposée à l'ouverture. Ensuite on détermine une étincelle entre le conducteur de la machine et cette petite tige isolée qui en donne une au même instant à la paroi du vase qu'on tient à la main, afin qu'il soit en communication avec le sol. Cette dernière étincelle, qui éclate dans le mélange gazeux, occasionne la combinaison de l'hydrogène et de l'oxigène, comme le ferait un corps enflammé. Le liège avec lequel on avait fermé l'ouverture du vase est chassé avec force, et un bruit violent se fait entendre.

Pour comprendre ces deux derniers effets, il faut savoir que la combinaison dont il s'agit produit de l'eau, et qu'elle est accompagnée d'une grande chaleur. Il suit de là que, dans le premier moment, la vapeur d'eau formée étant très-chaude a une tension considérable; c'est pour cela que le bouchon est lancé au loin : mais presqu'aussitôt cette vapeur se condense, et occasionne un vide considérable auquel est dû le bruit.

Troisième expérience. Nous allons terminer par un exemple de décomposition très-remarquable. M. Wollaston est parvenu à séparer les élémens de l'eau au moyen de l'appareil représenté dans la *fig.* 128; il consiste en un tube très-fin fermé par un bout, au fond duquel on a fait déposer un peu d'or, et qu'on a usé ensuite à l'extérieur jusqu'à découvrir à la loupe la pointe d'une des parcelles de ce métal. Ce tube, qu'on a dû recourber ensuite comme

on le voit dans la figure, renferme dans toute son étendue un fil métallique communiquant avec le conducteur de la machine électrique, et il est plongé dans un vase qui contient de l'eau d'où part pour arriver au sol un second fil métallique. Une petite cloche pleine d'eau et renversée recouvre l'extrémité du tube.

Quand on met la machine en jeu, l'électricité est transmise par le premier fil conducteur jusqu'à l'or qui occupe le fond du tube, puis au liquide par la petite pointe métallique, et de là au sol. L'action de la pointe sur l'eau qui se trouve en contact avec elle est si vive, que l'oxigène et l'hydrogène qui la composent se trouvent séparés, et repassent à l'état gazeux sous lequel on les reçoit mélangés dans la petite cloche.

Accélération de l'écoulement des liquides par les tuyaux capillaires. Par les tuyaux capillaires, les liquides s'écoulent avec une assez grande lenteur et même goutte à goutte, lorsqu'ils sont très-fins. L'expérience a fait connaître aux physiciens deux moyens pour accélérer cet écoulement : l'un consiste à employer le liquide chaud ; l'autre à l'électriser, en suspendant le vase qui le contient au conducteur de la machine électrique. Dans ce dernier cas, on peut voir un écoulement qui s'effectuait goutte à goutte devenir continu aussitôt qu'on met la machine en jeu, et se ralentir quand elle cesse d'être en activité.

L'identité qui se remarque dans cette circonstance entre l'action de la chaleur et celle de l'électricité vient de ce que le filet d'eau électrisée qui remplit le tuyau d'écoulement ayant un rayon très-petit, la couche où réside la chaleur en quoi consiste l'électricité le compose presqu'en entier. Il résulte de là que la fluidité de ce filet doit être augmentée comme quand on emploie du liquide chaud ; telle est la cause qui rend l'écoulement plus facile et par conséquent plus rapide.

C'est pour les mêmes raisons que l'électricité augmente la

transpiration cutanée des animaux qu'on soumet pendant un long temps à son action ; car ce phénomène n'est pas autre chose que l'écoulement très-lent d'un liquide que la nature rejette à travers les pores de la peau.

Accélération de la végétation. Plusieurs physiciens, pensant que l'électricité devait augmenter la vîtesse des mouvemens de la sève, puisqu'elle accélérait l'écoulement des liquides par des tuyaux capillaires, ont aussi essayé son action sur des plantes ; ils s'accordent tous à dire que les graines qu'on électrise germent plus promptement, et que les plantes poussent dans le même cas avec plus de vîtesse. L'abbé Nollet décrit de la manière suivante une expérience qu'il a faite sur ce sujet :

« Le 9 octobre de l'année 1747, je fis remplir de la même terre deux petites jattes d'étain toute semblables : je semai dans chacune une égale quantité de graine de moutarde, prise au même paquet ; je les laissai deux jours dans le même lieu, sans y faire autre chose que les arroser et les exposer aux rayons du soleil, depuis environ dix heures du matin jusqu'à trois heures après midi.

» Le 11 du même mois, c'est-à-dire deux jours après avoir semé la graine, je plaçai une des jattes marquée de la lettre A dans une cage de tôle (1), où elle fut électrisée pendant dix heures, savoir, le matin depuis sept heures jusqu'à midi, et le soir depuis trois heures jusqu'à huit : pendant tout ce temps-là l'autre jatte était à l'écart, mais dans la même chambre où la température était assez uniformément de 13 dégrés $\frac{1}{2}$ au thermomètre de M. de Réaumur.

» Le 12, ces deux jattes furent exposées ensemble au soleil et arrosées également : on les rentra de bonne heure le soir, et je n'y aperçus encore rien de levé.

» Le 13, à neuf heures du matin, je vis dans la jatte

(1) Cette cage doit être isolée et communiquer avec le conducteur de la machine électrique.

électrisée trois graines levées, dont les tiges étaient de trois lignes hors de terre; la jatte non électrisée n'en avait aucune : on eut de l'une et de l'autre le même soin que le jour précédent, et l'on électrisa le soir pendant trois heures celle qui était destinée à cette épreuve.

» Le 14 au matin, la jatte électrisée avait 9 tiges hors de terre, dont chacune était longue de 7 à 8 lignes, et l'autre n'avait encore absolument rien de levé; mais le soir j'en aperçus une dans celle-ci qui commençait à se montrer : la première fut encore électrisée ce jour-là pendant cinq heures, l'après-midi.

» Enfin, pour abréger ce détail, il suffira de dire que jusqu'au 19 d'octobre, je continuai de cultiver également ces deux portions de terre ensemencées, en électrisant toujours une, et toujours la même, pendant plusieurs heures tous les jours, et qu'au bout de ce terme, c'est-à-dire après huit jours d'expériences, les graines électrisées étaient toutes levées, et avaient des tiges de 15 à 16 lignes de hauteur, tandis qu'il y en avait à peine deux ou trois des autres hors de terre, avec des tiges de 3 ou 4 lignes au plus.

» Cette différence était si marquée, que je fus tenté de l'attribuer à quelque cause accidentelle que je ne connaissais pas; mais au retour d'un petit voyage que je fus obligé de faire, je trouvai toutes les graines levées dans la jatte qui n'avait pas été électrisée, et je commençai à croire avec quelque confiance que l'électricité avait accéléré véritablement la végétation et l'accroissement des autres.

» Quoique cela parût assez clairement indiqué par l'expérience que je viens de citer, je ne me suis rendu à cette conséquence qu'après plusieurs épreuves réitérées sur différentes graines, et suivies de résultats à peu près semblables: j'avais un certain nombre de jattes pleines de terre, que j'ensemençais par couples, afin qu'il y en eût toujours une de chaque espèce sur la cage de tôle pour y être électrisée; j'ai toujours vu une différence considérable entre les semences électrisées et celles qui ne l'étaient pas : les premières se sont

levées plus promptement et en plus grand nombre dans un temps donné, et leur accroissement s'est fait plus vîte.

» Il m'a semblé aussi que les graines dont l'électricité avait hâté la germination, avaient poussé des tiges plus menues et plus faibles que celles qu'on avait laissé lever d'elles-mêmes; mais je n'oserais l'affirmer, n'ayant pas eu un assez grand nombre d'expériences pour m'en rendre bien certain (1) ».

Accélération de l'évaporation. En réfléchissant sur l'action que l'électricité doit exercer sur les liquides, on s'aperçoit de suite qu'elle doit en hâter l'évaporation; 1° parce que la surface est plus chaude; 2° parce que les courans alimentaires apportent sans cesse de nouvel air en contact avec cette surface (*voy.* tom. 1^er^, pag. 100). Cet effet a été constaté il y a long-temps par l'expérience. L'abbé Nollet, qui a étudié avec beaucoup de soin cette question, s'exprime ainsi : . .

(1) C'est une chose curieuse à voir qu'une plante qu'on électrise dans l'obscurité : si c'est un pied de basilic, par exemple, de romarin, etc., de l'extrémité de chaque feuille, surtout si l'on en approche la main à une certaine distance, il sort un souffle très-sensible et une aigrette lumineuse; ce qui fait un spectacle beaucoup plus joli que je n'ai pu le représenter dans la *fig.* 4, à la lettre A. Je n'ai pas remarqué qu'une plante grasse ou aromatique fît mieux qu'une autre; mais j'ai toujours vu que les parties les plus flexibles faisaient effort pour s'écarter les unes des autres; comme il arriverait infailliblement aux fils d'une frange que l'on rendrait électrique. la même chose arrive sans doute aux feuilles d'une fleur, et c'est peut-être ce qui a fait dire à M. Boze, dans la dernière partie de ses *Tentamina*, page 10, que l'électricité fait épanouir les roses, les renoncules, etc. La raison de ce phènomène se présente d'elle-même; on sait que tous les corps animés de la même quantité d'électricité se repoussent réciproquement : les feuilles ou les parties d'une même plante qu'on électrise doivent donc faire entr'elles cet effet, comme le feraient les fils d'une même frange en pareil cas; et quand les feuilles d'une fleur s'écartent l'une de l'autre, il faut bien que la fleur paraisse s'épanouir.

« J'ai éprouvé d'abord des liqueurs et ensuite des corps solides non organisés, et j'ai considéré comme tels ceux qui le sont naturellement, mais dont les parties organiques ne font plus de fonction, tels que les fruits détachés de leurs arbres, les plantes séparées de la terre, la chair des animaux morts, etc.

» Pour savoir avec quelque certitude si l'électricité était capable de changer le poids de tous ces corps, j'en pesais deux de la même espèce et à peu près de même volume, et l'on en tenait compte par écrit; l'un était électrisé pendant quatre ou cinq heures, et l'autre pendant tout ce temps-là demeurait dans le même lieu, mais à l'écart, après quoi on les pesait encore; et si le corps électrisé se trouvait avoir perdu plus de son poids en se desséchant que celui qui ne l'avait pas été, on jugeait que la différence était un déchet qu'on devait attribuer à son électrisation.

» A la rigueur, on aurait pu soupçonner en certain cas que le corps qui se trouvait le plus léger l'était devenu, non par la vertu électrique, mais par quelque disposition particulière, par quelque qualité individuelle qui l'aurait rendu plus évaporable qu'un autre, quoique de la même espèce : pour lever entièrement ce doute, on électrisait tour à tour les deux corps ou les deux portions de matières qu'on devait comparer ensemble; et ce n'était qu'après plusieurs expériences alternatives, et sur des résultats constans, que l'on tirait les conséquences.

» Si l'électricité devait diminuer le poids des liqueurs, cette diminution pouvait être considérée comme une évaporation forcée, et alors on pouvait soupçonner dans cet effet (supposé qu'il eût lieu) des variations, suivant que le vase serait par sa nature plus ou moins électrisable, suivant qu'il serait ouvert ou fermé, ou que son ouverture serait plus ou moins grande, ou enfin relativement à la nature des liqueurs qui pourraient être plus ou moins évaporables.

» Pour embrasser toutes ces vues, j'ai fait mes épreuves

sur de l'eau commune, sur des huiles, sur des liqueurs salines et sur des esprits très-volatils; j'ai tenu ces liqueurs en expérience d'abord dans des vases de verre, ensuite dans des vases de métal semblables aux premiers par la figure et par la capacité, et enfin je les ai éprouvées dans des vaisseaux de l'une et de l'autre espèce que j'ai tenus bien fermés.

» Toutes ces expériences ont été répétées plusieurs fois et en différens temps; elles ont fait voir :

» 1°. Que l'électricité augmente l'évaporation naturelle des liqueurs, puisque, à l'exception du mercure qui est trop pesant et de l'huile d'olive dont les parties ont trop de viscosité, toutes les autres qui ont été éprouvées ont souffert des pertes qu'il n'est guère possible d'attribuer à d'autre cause qu'à l'électricité.

» 2°. Que l'électricité augmente d'autant plus l'évaporation, que la liqueur sur laquelle elle agit est par elle-même plus évaporable; car l'esprit volatil de sel ammoniac a souffert plus de déchet que l'esprit de vin ou celui de térébenthine; ces deux dernières liqueurs plus que l'eau commune, et l'eau plus que le vinaigre ou la solution de nitre.

» 3°. Que l'électricité a plus d'effet sur les liqueurs, quand les vases qui les contiennent sont de nature à s'électriser davantage ou plus facilement par communication; au moins m'a-t-il paru que les effets étaient toujours un peu plus grands quand les vaisseaux étaient de métal, que quand ils étaient de verre.

» 4°. Que l'évaporation forcée par l'électricité est plus considérable quand le vase qui contient la liqueur est plus ouvert, mais que les effets n'augmentent pas suivant le rapport des ouvertures; car ces liqueurs, quand on les électrisait dans des capsules de 4 pouces de diamètre, présentaient à l'air seize fois autant de surface, que quand elles étaient contenues dans des caraffes dont le goulot n'avait qu'un pouce de diamètre : cependant il s'en fallait bien qu'il

y eût cette différence entre les effets, comme on le pouvait voir par la comparaison des résultats.

» 5°. Que l'électrisation ne fait point évaporer les liqueurs à travers les pores du métal ni à travers ceux du verre, puisqu'après des épreuves qui ont duré dix heures, on ne trouve aucune diminution dans leur poids, lorsqu'on a tenu bien bouchés les vaisseaux dans lesquels on les avait enfermées ».

Odeur. Enfin, une vive électricité peut encore déterminer une odeur d'ail plus ou moins forte. Cette odeur, ne changeant pas de nature quand on remplace le conducteur de la machine par diverses autres matières, doit être attribuée à l'air atmosphérique; ou plutôt, comme ce fluide est par lui-même inodore, aux matières qui s'y trouvent en suspension. Ces matières qu'on aperçoit facilement lorsqu'un rayon de lumière pénètre dans une chambre obscure, sont en grand nombre; il y en a sans doute qui proviennent des trois règnes de la nature, et on conçoit qu'étant amenées par les courans alimentaires en contact avec la couche très-chaude qui forme la surface du corps électrisé, les plus tenues de celles qui appartiennent au règne végétal ou au règne animal peuvent être brûlées, et produire une odeur d'ail ou de phosphore d'autant plus forte que l'électricité sera plus vive. Cette opinion devient très-probable, quand on considère que ce sont surtout les aigrettes qui font sentir une forte odeur.

Moyens de mesurer l'électricité.

Dans l'explication que nous avons donnée des effets de l'électricité, on a pu remarquer que plusieurs causes peuvent les augmenter ou les diminuer, comme : un changement dans la profondeur de la couche chaude ou dans sa température, la conducibilité des corps, leur forme, etc...; parmi ces causes, il y en a qui augmentent certains effets

et en diminuent d'autres. Cela fait naître une grande difficulté dans la mesure de l'électricité, et empêche même qu'on ne puisse fixer d'une manière précise ce qu'on entend par un degré d'électricité plus ou moins fort. Est-ce une plus grande profondeur dans la couche chaude qui constitue une plus grande électricité, ou bien est-ce une température plus élevée dans cette couche? Est-ce la forme du corps, est-ce sa conducibilité? Il est évident qu'on se tromperait en considérant une seule de ces quantités; car, lors même qu'elle ne changerait pas, les effets pourraient devenir plus intenses si les autres venaient à varier. Il faut donc avoir égard à toutes; et, comme nous ne pouvons pas évaluer l'influence de chacune d'elles ni comparer ces influences, nous sommes forcés d'abandonner la recherche d'une définition exacte, et de nous borner à dire quelles sont les causes qui font varier les effets, et à faire remarquer que la force de l'électricité consiste principalement dans la température de la couche où elle réside, et dans la profondeur de cette couche (*voy.* pag. 230).

Si les effets augmentaient tous en même temps lorsque les circonstances varient, on obtiendrait, en mesurant l'un d'entr'eux, ainsi qu'on l'a fait jusqu'à présent, des données suffisantes pour juger grossièrement les dégrés d'électricité; mais, comme il n'en est pas ainsi, ce moyen doit conduire et conduit quelquefois en effet à des erreurs qu'on peut reconnaître en mesurant d'autres effets. Avec cette précaution, on n'est pas exposé à regarder comme fortement électrisé un corps qui l'est très-peu, ni comme faiblement électrisé un corps qui l'est beaucoup; mais il peut arriver, quoique rarement, que, de deux corps presque également électrisés, on regarde comme l'étant le moins celui qui l'est en réalité le plus. Toutefois, les erreurs qu'on peut faire n'étant jamais bien grandes, il est évident qu'il n'en saurait résulter aucun inconvénient grave, surtout si l'on considère qu'en aucun cas nous n'avons besoin de mesurer l'électricité avec la même précision que la chaleur.

Les instrumens imaginés pour mesurer les effets de l'électricité sont en assez grand nombre : il y en a qui servent à mesurer l'attraction ; d'autres, la répulsion ; d'autres enfin, les étincelles. Outre cela, nous pouvons apprécier jusqu'à un certain point, avec nos organes du toucher, de l'odorat et de la vue, la force des courans supernascens, de l'odeur et de la lumière. Tous ces moyens devront être mis en usage quand on aura intérêt à bien juger, et on devra s'en rapporter aux indications qui s'accorderont entr'elles (1).

Instrumens propres à mesurer l'attraction. Nous avons déjà indiqué page 213 le pendule électrique, le plus simple des instrumens dont nous avons à parler maintenant ; il faut y joindre la balance de Coulomb, instrument susceptible d'une grande exactitude, mais qui ne peut servir que quand l'électricité est faible.

Il consiste en une grande cage de verre A B C D, recouverte d'une plaque A C de même substance (*voy. fig.* 129) ; sur le milieu de cette plaque qui présente une ouverture est soudé perpendiculairement un tube aussi en verre *f e b h*. Ce tube est surmonté d'un petit tuyau de cuivre *c b h d*, dans lequel peut tourner à frottement un autre tuyau de même matière. Une plaque *l y*, dont le bord est divisé en 360 dégrés, termine ce dernier ; elle est percée en son milieu d'un trou à travers lequel passe une tige qui porte une aiguille *o l* à son extrémité supérieure, et qui est terminée à son extrémité inférieure par une petite pince dans laquelle est fixé un fil d'argent très-délié *p n*, qu'un cylindre de cuivre *n u* tient tendu. Ce cylindre qui est fendu dans une partie de sa longueur sert en outre de support

(1) Il n'y a pas toujours accord entre toutes : par exemple, quand on frotte dans l'obscurité un tube vide d'air, on aperçoit dans son intérieur une vive lumière qui pourrait le faire croire fortement électrisé ; tandis que, si l'on cherche à s'en servir pour produire des attractions ou des répulsions, ou si l'on veut en tirer des étincelles, il ne paraît l'être que faiblement ; il n'occasionne pas non plus d'odeur.

à une petite aiguille $a\,g$ qu'on y engage, dont une partie $n\,g$ est en cuivre, et l'autre partie $n\,a$ composée d'un fil de soie enduit de gomme-laque ; à l'extrémité de celle-ci se trouve un petit disque a de clinquant ou de papier doré. Un second fil de soie enduit aussi de gomme-laque, et portant à sa partie inférieure une balle x de cuivre, peut être introduit dans la cage par une ouverture m pratiquée dans la plaque A C ; un petit bâton de cire d'Espagne, auquel il est fixé par sa partie supérieure, le maintient dans une position telle que la balle x correspond au zéro d'un cercle gradué $z\,q$ attaché autour de la cage.

Quand on veut s'en servir, on commence par faire tourner le tuyau de cuivre supérieur jusqu'à ce que le disque a soit à une distance arbitraire, mais constante dans toutes les expériences qu'on voudra comparer, de la balle x; puis on enlève la pièce $m\,t$, on touche avec la balle de cuivre le corps dont on veut mesurer l'électricité, et on replace cette pièce dans la cage. Le disque a étant attiré s'en rapproche d'une certaine quantité (un fil qu'on a disposé verticalement dans la cage l'empêche de venir jusqu'au contact) ; on tourne alors l'aiguille $o\,l$ qui correspondait au zéro de la division $l\,k\,y$, jusqu'à ce que la torsion imprimée par là au fil d'argent ait fait reprendre au disque a sa position première. Comme il y a alors équilibre, l'attraction se trouve égale à la force de torsion ; et celle-ci, étant elle-même proportionnelle à l'angle de torsion qui est indiqué par la position de l'aiguille $o\,l$ sur la division $l\,k\,y$, on voit qu'il suffira d'observer cette position pour avoir une mesure de l'attraction. Il sera facile de comparer par ce moyen les vertus attractives des diverses parties d'un même corps électrisé ou de différens corps électrisés.

Instrumens propres à mesurer la répulsion. Pour mesurer la répulsion, on peut se servir encore de l'appareil de Coulomb que nous venons de décrire :

Ayant disposé les choses comme précédemment, on fait

tourner l'aiguille *o l* de manière à rapprocher le disque *a* de la balle de cuivre *t* plus que ne l'avait fait d'abord l'attraction électrique, et même jusqu'au contact. Aussitôt qu'il a eu lieu, la répulsion remplace l'attraction, et le disque *a* s'éloigne de nouveau de la balle de cuivre, jusqu'à dépasser même ordinairement la position qu'il occupait au commencement de l'expérience. On continue à faire tourner l'aiguille *o l* jusqu'à ce que le disque *a* soit revenu à cette position; puis on observe le chemin parcouru par cette aiguille, et on a ainsi une mesure de la répulsion, puisqu'il y a équilibre entre cette force et la force de torsion.

Lorsqu'on n'a en vue que de constater qu'il y a attraction ou répulsion dans des circonstances déterminées, l'aiguille électrique peut remplacer la balance de Coulomb; seulement, quand on veut la faire servir à constater une répulsion, on doit remplacer par un support isolant le support métallique qu'on lui donne ordinairement (voy. *fig.* 130 et 131).

L'électromètre à cadran est employé aussi pour mesurer la répulsion et indiquer à peu près la force de l'électricité communiquée par la roue d'une machine à son conducteur; on le voit représenté dans la *fig.* 144 *bis*). Toutes ses parties s'électrisent quand on met la machine en jeu pendant qu'il y est adapté, et son pied *a b* repousse l'aiguille *c d* qu'une petite balle de moëlle de sureau termine. Cette aiguille s'écarte d'autant plus que la répulsion est plus considérable, et le dégré auquel elle correspond sur le cadran en donne une mesure grossière.

Enfin à ces instrumens on peut encore ajouter le pendule isolé dont nous avons déjà fait usage, et le pendule double qui se compose d'un simple fil de lin passé dans un anneau en fil de laiton, et dont les deux moitiés qui pendent à côté l'une de l'autre portent à leurs extrémités chacun une petite balle de moëlle de sureau. On établit par une disposition quelconque une communication entre le corps électrisé et le petit anneau métallique : les deux fils de lin et

les deux petites balles s'électrisent également par conducibilité : puis elles se repoussent d'autant plus vivement que le corps qu'on examine est plus fortement électrisé, et donnent par leur écart une mesure grossière de la répulsion.

Instrument pour mesurer les étincelles. Enfin, pour mesurer les étincelles données par une machine, on place auprès de son conducteur C le petit appareil représenté dans la *fig.* 145 *bis.* La boule A touche d'abord le conducteur; en tournant la vis A B, on l'en éloigne de plus en plus, et l'on s'arrête lorsque les étincelles cessent de partir entre le conducteur et la boule A qui n'est pas isolée. On évalue alors la distance qui les sépare d'après le chemin que la partie B a parcouru sur la plaque divisée *c d*, et on juge par là de la force de l'étincelle ou plus exactement de la distance à laquelle elle peut partir. Cet instrument ne peut pas au reste faire connaître la température de l'étincelle ni le dégré du vide qui la détermine; car ces quantités ne dépendent pas uniquement de la plus grande distance à laquelle elle peut partir, puisque dans certaines circonstances on observe des étincelles plus piquantes et d'une lumière plus blanche que d'autres qui peuvent cependant éclater à une plus grande distance.

Circonstances qui font varier les dégrés d'électricité que les corps acquièrent par le frottement. En général, quand on frotte deux corps l'un contre l'autre, il arrive que l'un des deux s'électrise plus fortement; c'est ce que l'on peut constater en touchant avec l'un un pendule isolé auquel on présente ensuite l'autre : dans ces circonstances, il y a presque toujours attraction, ce qui n'a lieu que quand les courans (*voy.* pag. 230) sont inégalement intenses. D'ailleurs, si, au moyen d'une disposition que nous décrirons en parlant de la machine électrique, on électrise successivement avec l'un et l'autre des deux corps frottés, un corps bon conducteur, on observera aussi que les aigrettes

occasionnées par une pointe vissée sur ce conducteur, ainsi que les étincelles qu'il donnera, seront moins fortes dans un cas que dans l'autre.

On avait d'abord pensé que la nature des corps était la seule cause d'où dépendait la force de l'électricité que le frottement fait naître à leur surface. D'après cela, on rangeait les corps dans l'ordre suivant qu'on croyait tel que chacun d'eux s'électrisait le plus quand on le frottait avec un des précédens, et le moins au contraire quand on le frottait avec un des suivans :

Verre dépoli.
Papier.
Etoffe de laine.
Gomme laque.
Bois.
Verre poli.
Soie.
Plumes.
Peau de chat.

Mais bientôt après on s'est aperçu que plusieurs circonstances dont on n'avait pas tenu compte influaient beaucoup sur les résultats, principalement le poli de la surface et la température. On remarqua, par exemple, que le verre qui, frotté avec de la laine, s'électrisait plus que cette dernière substance, s'électrisait moins qu'elle lorsqu'on avait soin de le dépolir; et que si, de deux corps susceptibles de s'électriser par leur frottement mutuel, on chauffait celui qui s'électrisait le plus, il arrivait assez souvent qu'il s'électrisait ensuite le moins.

Deux causes concourent pour diminuer l'aptitude à s'électriser d'un corps qu'on échauffe : d'abord, l'air se trouve un peu échauffé à distance par le corps chaud, ce qui occasionne des courans ascendans nuisibles aux courans supernascens et alimentaires, et empêche que la dilatation subite que l'air éprouve au contact soit aussi considérable; en second lieu, les corps qu'on chauffe deviennent meilleurs

conducteurs (*voy.* pag. 220), et la chaleur de la surface peut se perdre en plus grande quantité, puisqu'elle se transmet plus facilement à l'intérieur. Quant au poli, on peut expliquer son influence, comme lorsqu'il s'agissait de la chaleur; plus une surface est hérissée d'aspérités, et plus sa chaleur se transmet facilement à l'intérieur: par conséquent, moins elle en conserve et moins le corps est électrisé.

Toutefois, la chaleur n'est pas toujours nuisible à la production de l'électricité; le contraire arrive même souvent: un faible dégré de chaleur, en augmentant la conducibilité, peut augmenter l'épaisseur de la couche électrique, et par suite la force de l'électricité; tandis qu'une chaleur plus grande, en rendant le corps trop bon conducteur, augmente assez l'épaisseur de la couche électrique pour que l'électricité s'en trouve diminuée (*voy.* pag. 230), outre qu'elle en abaisse beaucoup la température.

La nature du corps frotté, ou, ce qui est la même chose, la forme et l'arrangement de ses atomes, doivent évidemment influer aussi et beaucoup sur les résultats; mais, comme nous ne connaissons ni cette forme ni cet arrangement, il ne nous est pas possible de prévoir ni d'expliquer les effets en détail; nous ne pouvons que faire des expériences pour les constater. En étudiant ce sujet, les physiciens ont remarqué, comme nous l'avons dit, que certaines substances s'électrisent moins fortement que d'autres; telles sont, par exemple, le soufre et les substances résineuses qui, toutes choses égales d'ailleurs, prennent par le frottement une électricité moins vive que le verre. Il arrive d'après cela que les premières attirent communément les corps légers électrisés par les dernières, et réciproquement; c'est par une suite de ce que nous avons dit page 230 2°, sur l'action de deux corps inégalement électrisés. Cependant il arrive encore assez souvent, lorsque les résines sont électrisées autant qu'elles peuvent l'être, que la différence

se trouve assez petite pour qu'elles repoussent les corps légers électrisés par le verre. On observe aussi, surtout lorsque les pointes sont très-fines, qu'en les adaptant à un conducteur électrisé par le verre, elles occasionnent des aigrettes plus allongées que quand on les visse sur un conducteur électrisé par le soufre. Dans ce dernier cas, on est même obligé de prendre quelquefois une loupe pour reconnaître qu'il y a une aigrette produite et non pas un simple point lumineux.

Frappés de ces différences, un grand nombre de physiciens ont admis qu'il y avait deux espèces d'électricité *essentiellement distinctes*, deux substances ou deux modifications différentes; à l'une ils ont donné le nom d'électricité *vitrée*, à l'autre celui d'électricité *résineuse*, parce qu'elle se développait quand on frottait des gommes ou des résines. Ils ont encore admis que, si deux corps étaient électrisés de la même manière, c'est-à-dire tous deux *vitreusement* (par le verre poli frotté avec de la laine) ou tous deux *résineusement*, ils se repoussaient, et que, s'ils étaient électrisés de manières différentes, c'est-à-dire l'un vitreusement et l'autre résineusement, il y avait toujours attraction.

Voici un extrait (1) d'une lettre de l'abbé Nollet à M. Dutour, qui fera voir comment on peut combattre cette prétendue distinction. Nous ne serions pas entrés dans des détails sur cette question, si ce sentiment n'était généralement accrédité; parce que, dans notre théorie, il est évident que les seules différences (et elles ne sont pas *essentielles*) que deux corps électrisés peuvent présenter sont des couches chaudes plus ou moins profondes, et des températures plus ou moins élevées :

« Le premier fait que l'on cite, c'est celui qui a » été observé par M. Dufay; mais, on lui donne trop » d'étendue et trop de force, en assurant que *l'on n'a*

(1) Les parties qui ont dû être modifiées pour se trouver en harmonie avec notre théorie, ne présentent point de guillemets.

» *jamais éprouvé de répulsion entre les corps électrisés par les* » *gommes et ceux qui l'étaient par le verre.* M. Dufay lui- » même l'a éprouvé, comme on peut s'en convaincre par la » lecture de son quatrième et de son septième mémoire (1). » S'il a regardé le fait comme une irrégularité causée par » quelque circonstance particulière, c'est qu'il n'a point assez » vécu pour reconnaître que cet accident peut revenir bien » des fois, nonobstant toutes les précautions qu'il recom- » mande, et que ce qu'il avait annoncé comme invariable » ne l'est point.

» Ce que M. Dufay n'a observé que rarement, je l'ai vu » depuis se répéter en différens temps, lorsque je cherchais » à revoir ce qui avait donné lieu à la distinction des deux » électricités; et c'est principalement par cette raison que » je l'abandonnai, il y a plus de quinze ans, aimant mieux » attribuer ces effets incertains au plus ou moins d'énergie » de l'électricité occasionnée par la nature des corps et par » quelque disposition particulière de l'air ambiant, que » d'adopter de nouveaux êtres sans nécessité et sans preuves » suffisantes. Je trouve aussi dans un de vos mémoires, lu » à l'Académie il y a bien dix ans (2), des expériences qui » vous ont conduit à penser à peu près de même.

» Rappelez-vous, Monsieur, que l'année dernière (1755), » pendant le séjour que vous fîtes à Paris, nous nous entre- » tînmes souvent de cette espèce de bizarrerie, et que nous » l'éprouvâmes ensemble d'une manière bien marquée, le » 23 août, sur une feuille de métal suspendue par un fil » de soie, à laquelle nous présentions alternativement un » bâton de cire d'Espagne rouge, d'un pouce de diamètre » et de treize pouces de long, et un tube de verre qui

(1) Voyez les mémoires de l'Académie des Sciences, 1733, p. 468, et 1737, pag. 99.

(2) Mémoires de mathématiques et de physique présentés à l'Académie royale des Sciences par divers Savans, et lus dans ses assemblées, tome 1, pag. 357 et suivantes.

» avait à peu près les mêmes dimensions, l'un et l'autre » nouvellement frottés, et après avoir communiqué leur » électricité à la feuille de métal : vous vous souvenez, sans » doute, que plus de vingt fois de suite nous la repous- » sâmes sans équivoque, et d'assez loin, avec la cire d'Es- » pagne, quoiqu'elle vînt d'être électrisée avec le tube de » verre ; qu'elle se tint de même écartée du tube, quoi- » qu'elle eût acquis la vertu électrique en touchant la cire » d'Espagne ; enfin vous n'aurez pas oublié combien nous » fûmes intrigués de voir une heure après, dans le même » lieu et avec les mêmes instrumens, les effets changer et » devenir tout à fait contraires à ceux que nous avions » observés.

» Après votre départ, je continuai ces épreuves, comme » nous en étions convenus, et je puis vous assurer que » pendant plus d'une année qui s'est passée depuis, je n'ai » guère manqué d'y revenir plusieurs fois dans chaque » semaine, afin de comprendre, dans les circonstances que » j'avais à examiner, celle des saisons, du froid, du chaud, » du sec et de l'humide. De 600 à 700 épreuves que je » trouve sur mon journal, il y en a environ 250 dont les » résultats sont conformes à ceux du 23 août 1755, par » lesquels il est constant que dans certains cas l'électricité » des gommes et résines repousse réellement les corps qui » ont acquis celle du verre, au lieu de les attirer, comme » on croit que cela arrive toujours.

» Je me suis flatté plus d'une fois d'avoir saisi les cir- » constances qui faisaient tourner à coup sûr le résultat » de l'expérience d'un côté ou de l'autre ; mais la suite m'a » fait connaître que je m'étais trompé, ou qu'il manquait » encore quelque chose à ma découverte : il est certain que » le volume du corps frotté doit entrer en considération, » car je n'ai jamais pu faire avec un bâton ordinaire de » cire d'Espagne gros comme le petit doigt et long de cinq » à six pouces, ce que j'ai vu arriver plus de deux cents » fois en employant un long et gros cylindre de la même

» matière. J'ai observé de plus que la cire d'Espagne, » légèrement frottée avec la main nue ou autrement, re- » poussait de plus loin et plus sûrement les corps électrisés » avec le verre, que quand on l'avait frottée plus forte- » ment; et (ce qu'on aura peut-être peine à croire) c'est » que, dans le premier cas, je lui ai presque toujours » trouvé une électricité plus vive et plus durable que dans » le second.

» Avec ces deux circonstances, dont le sort de l'expé- » rience m'a paru dépendre, je veux dire celle d'un volume » un peu considérable, et celle du frottement ménagé d'une » certaine manière, il en faut encore quelque autre qui a » échappé à mes recherches, et qui doit être bien peu de » chose, puisqu'avec les mêmes instrumens, dans le même » lieu et en moins d'un quart-d'heure de différence, j'ai » vu les effets totalement opposés entre eux, quelque soin » que je prisse pour les rappeler à l'uniformité, soit en » renouvelant l'air de la chambre, soit en refroidissant, » en échauffant, en essuyant les tubes de verre et les bâtons » de cire d'Espagne, ou bien en lavant mes mains, et en » changeant le papier ou l'étoffe qui me servait à frotter.

» J'ai observé seulement, lorsque le gros cylindre de cire » d'Espagne ne repoussait plus les corps électrisés par le » verre, que sa surface, au lieu d'être bien lisse et de » glisser aisément sur ma main, devenait comme un peu » poissée, quoique je l'essuyasse à plusieurs reprises et avec » un linge blanc; ce qui m'a fait soupçonner » que la sur- face avait éprouvé un commencement de fusion qui dimi- nuait sa solidité, permettait à ses parties de glisser les unes sur les autres, et empêchait conséquemment que les atomes qui les composaient ne fussent sollicités au mouvement avec autant d'efficacité. (*Voy.* pag. 33, tom. 1^er^, où il a été fait une remarque analogue relativement au choc).

« J'ignore donc à quoi il tient que l'électricité des matières » résineuses produise ou ne produise point les mêmes effets » que ceux du verre; mais je suis on ne peut pas plus

» certain qu'elle les produit souvent, et cela me suffit pour » ne pas croire en conséquence des raisons alléguées par M. » Dufay, et rappelées aujourd'hui par les partisans de M. » Franklin, que ces deux électricités diffèrent entr'elles » essentiellement, et comme deux espèces distinctes; car » ces raisons n'ont plus de force, dès qu'elles consistent » dans des faits qui se démentent. J'ai examiné à loisir, » et très-attentivement, ceux qu'on a tenté de leur substi- » tuer pour soutenir la même prétention, et je vous assure » que je ne les ai point trouvés concluans. Vous en jugerez » vous-même.

» On allègue, par exemple, que les électricités résineuse » et vitrée se distinguent en ce que les résines, les gommes, » le soufre, etc., frottés » et employés pour électriser des conducteurs, donnent à ceux-ci la propriété de déterminer vers chacune de leurs parties aiguës seulement un point lumineux, tandis que le verre leur donne la propriété d'exciter des aigrettes lumineuses plus ou moins longues.

« Nous avons bien reconnu, vous et moi, en travaillant » ensemble l'année dernière, et je ne fais nulle difficulté de » l'avouer, que la forme et le volume de ces feux changent » considérablement suivant les circonstances dont je viens » de faire mention; et je crois bien qu'un homme accou- » tumé à voir les expériences, et à qui l'on cacherait le » reste de l'appareil, pourrait, à l'inspection de ces effets, » deviner assez sûrement s'ils sont produits par du verre » ou par du soufre électrisé; mais je ne puis convenir que » ces petites flammes qu'on nomme points lumineux, et » qu'un globe de soufre fait paraître au bout le plus reculé » du conducteur, n'aient pas aussi une certaine longueur. » On pourra le croire si l'on a bien envie que cela soit, » et qu'on n'emploie que des conducteurs extrêmement » pointus, avec une électricité médiocrement forte; mais » si l'on veut agir sans prévention, se servir, comme nous » l'avons fait, de tringles de fer grosses comme le doigt, » dont la pointe soit mousse, et choisir pour ces expériences

» des temps favorables à la vertu électrique, j'ose assurer » (et vous serez bien mon garant) qu'on verra ces feux » tels qu'ils nous ont paru, non comme des points immo- » biles, mais comme de petites flammes allongées de quel- » ques lignes, et qui s'élancent visiblement en avant avec » un souffle léger qui se fait sentir sur la peau et qui pousse » la flamme d'une petite bougie. C'est ainsi que l'a observé » M. Franklin lui-même, comme on peut le voir par la » lecture de sa neuvième lettre à M. Kinnersley (1) ». Ainsi il n'y a que des différences de grandeur entre les feux électriques produits par les conducteurs électrisés vitreusement et résineusement; ces feux sont d'ailleurs entièrement semblables.

« Voilà les raisons qui m'ont déterminé à dire, en pre- » mier lieu, qu'on ne pouvait pas compter sur les faits » allégués en faveur de la distinction des électricités résí- » neuse et vitrée, s'il était question d'en faire deux espèces. » Mais quand ces faits se montreraient invariablement et » tels qu'on les suppose, prouveraient-ils, comme on le » prétend, qu'il y a réellement deux sortes d'électricités » dans la nature? Avant que d'en venir à cette supposi- » tion, ne faut-il pas qu'un physicien ait épuisé en vain » toutes les ressources d'une imagination sage et féconde, » pour rappeler à un même principe les phénomènes qui » semblent en indiquer plusieurs? Et en tel cas ne faut-il » point que ce qu'il est forcé de supposer lui fournisse des » explications plausibles, et ne lui laisse point à combattre » des difficultés aussi grandes, pour le moins, que celles » qu'il a prétendu éviter? Or, il me paraît qu'on a eu » peu d'égard à ces maximes, lorsqu'on a pris, dans ces » derniers temps, la résolution de distinguer deux espèces » d'électricités. M. Dufay, quand il prit ce parti, n'avait » peut-être point encore assez observé combien l'électricité

(1) Seconde partie des expériences et observations par M. Benjamin Franklin, imprimée en anglais.

» des résines et des gommes est toujours inférieure en force » à celle du verre ; à peine savait-on de son temps qu'une » forte électricité l'emporte sur une faible, c'est-à-dire, » qu'un corps médiocrement électrique est à peu près comme » ne l'étant pas en présence de celui qui l'est davantage. Il » est excusable en quelque façon de s'être livré, avec un » peu de précipitation et de complaisance, à l'idée qui lui » est venue de regarder l'électricité des résines comme essen- » tiellement différente de celle du verre ; mais ceux qui ont » eu ou pu avoir une plus ample connaissance des obser- » vations dont je viens de parler, et qui ont eu tout le » temps de réfléchir sur les effets qui en peuvent résulter, » ne méritent point, à mon avis, la même indulgence : il » me semble qu'il devait leur en coûter davantage d'admettre » deux vertus électriques de natures opposées, que d'attri- » buer ce qui arrive entre un tube de verre et un bâton » de cire d'Espagne électrisés à la différence de force des » courans qu'ils excitent, dont on sait, par mille preuves, » que l'une est toujours plus faible que l'autre.

» Ainsi quand le soufre, les gommes, les matières résí- » neuses attireraient invariablement les corps électrisés par » le verre (ce qui n'est pourtant pas), on ne serait point » fondé maintenant à conclure de là qu'il existe réellement » dans la nature deux sortes d'électricités, parce qu'il y a » d'autres moyens plus admissibles que celui-là, de conci- » lier les phénomènes dont il s'agit avec les lois d'une seule » et même électricité.

» Je puis dire la même chose des feux ou apparences » lumineuses qui naissent de l'électricité du soufre : quand » ils prendraient, en toute occasion, la forme qu'ils ont » en certains cas, quand leur volume serait toujours le » même, tout ce qu'on en pourrait conclure légitimement, » c'est que le soufre électrisé produit au bout des conduc- » teurs de plus petits feux que le verre : mais, selon moi, » cela ne tire pas à conséquence pour la nature de ces feux ; » quiconque le croirait sur de tels indices pourrait imaginer

» aussi que la flamme et la clarté d'une petite bougie diffè-
» rent essentiellement de celles d'un flambeau, et qu'il y
» a dans la nature deux principes d'inflammation.

» Au reste, se flatterait-on d'avoir tout applani en ad-
» mettant deux sortes d'électricités, pour expliquer des
» phénomènes qu'on a cru ne pouvoir être rapportés à un
» seul et même principe? Pour moi je vois dans cette
» opinion des difficultés à résoudre plus grandes que celles
» dont on a voulu se débarrasser. Qu'on me dise, par
» exemple, comment ces deux êtres, qui diffèrent l'un de
» l'autre par essence, peuvent convenir au même individu:
» car c'est un fait dont vous et moi nous sommes assurés,
» par des épreuves réitérées cent fois, que le même bâton
» de cire d'Espagne peut repousser et attirer, en certains
» temps, ce qui a été électrisé avec le verre, suivant qu'il
» a été frotté un peu plus ou un peu moins avec la main
» nue ou avec du papier; c'est encore un fait dont nous
» sommes également certains, que ce même bâton de cire
» d'Espagne peut s'électriser de manière à repousser par un
» bout ce qu'il attire par l'autre. Qu'on m'apprenne aussi
» comment cette espèce d'électricité, qu'on croit ne convenir
» qu'aux matières résineuses, aux gommes, au soufre, etc.,
» devient propre au verre dès qu'il est seulement dépoli;
» et comment elle réside dans le même tube avec l'électri-
» cité vitrée, si ce tube n'est dépoli que dans la moitié de
» sa longueur; enfin, si le point de lumière arrondi et immo-
» bile au bout du conducteur est, comme on nous l'as-
» sure, le signe le moins équivoque de l'électricité résí-
» neuse, pourquoi se change-t-il en une petite flamme
» allongée, en un mot, en une véritable aigrette (quoique
» peu épanouie), quand l'électricité est forte, et que la
» verge de fer qui sert de conducteur est terminée par une
» pointe un peu mousse? D'où vient que l'électricité du
» verre se manifeste par le même signe, je veux dire par
» un point lumineux ou l'aigrette courte et peu épanouie,
» lorsque le conducteur, au lieu d'être de métal, est de

» quelque autre matière moins électrisable par communi-
» cation ?

» Ne pensez-vous pas comme moi, Monsieur, qu'il est
» plus difficile de répondre à ces difficultés, que d'expli-
» quer comment, en certains cas, un morceau de copal ou
» un bâton de cire d'Espagne attire, au lieu de repousser,
» les corps électrisés par le verre; ou pourquoi les feux
» électriques ont pour l'ordinaire des apparences différentes
» avec le verre qu'avec le soufre ? »

On voit d'après cette discussion, qui est dans le fond indépendante de toute théorie, qu'on ne doit pas distinguer dans la nature deux espèces d'électricités; il arrive seulement dans les circonstances ordinaires que les résines s'électrisent moins vivement ou moins profondément que le verre, et on ne doit pas plus distinguer l'électricité vitrée de l'électricité résineuse, qu'on ne distingue une forte électricité vitrée d'une faible, puisque deux corps électrisés vitreusement, tous deux fortement ou tous deux faiblement, se repoussent, tandis qu'ils s'attirent si un l'est fortement et l'autre faiblement. Nous pourrions énumérer un grand nombre de faits qui sont contraires à la distinction des deux électricités; mais nous nous contenterons d'en rapporter un dont la découverte nous est due.

Le conducteur de la machine étant en contact avec une plaque de gomme-laque, on met la machine en jeu, et peu de temps après on se sert de la plaque pour électriser, en le touchant, un petit pendule isolé; ce pendule est ensuite repoussé par un morceau de soufre frotté, ou par tout autre corps électrisé résineusement. Les partisans de la distinction des deux électricités, regardant comme de la même espèce les électricités de deux corps qui se repoussent, sont donc forcés de reconnaître ici qu'en se communiquant par le contact d'un corps à un autre, l'électricité vitrée peut se transformer en électricité résineuse; ce qui ne pourrait pas être si elles n'étaient pas de même nature et différentes uniquement par l'intensité qui peut varier par la communi-

cation, soit qu'elle se transmette à une moins grande profondeur, soit que le corps étant mauvais conducteur excite des courans moins énergiques.

Outre les causes que nous avons indiquées précédemment, diverses circonstances peuvent encore faire varier plus ou moins le dégré d'électricité. Nous ne pouvons pas entrer dans leur détail qu'il serait d'ailleurs difficile de rendre complet; nous nous bornerons à indiquer quelques expériences propres à faire juger combien il faut peu de chose pour faire varier le dégré d'électricité :

1°. Le taffetas gommé, qui s'électrise faiblement (ou résineusement) quand on le frotte, s'électrise plus fortement (ou vitreusement) quand, ayant posé dessus un disque de métal muni d'un manche isolant, on le presse un peu, puis qu'on l'arrache avec un bruit semblable à celui d'une étoffe qui se déchire.

2°. De deux rubans de soie de la même pièce, et frottés en croix; celui-là s'électrise le moins (ou résineusement) qui est frotté transversalement.

3°. Deux plaques de verre poli etant frottées l'une contre l'autre s'électrisent, tantôt la première plus que la seconde, tantôt la seconde plus que la première, sans qu'on puisse y remarquer de différence, et par conséquent sans qu'on puisse assigner les causes de ces différens effets.

4°. Certains métaux frottés avec un morceau de drap s'électrisent tantôt de manière à repousser un pendule électrisé avec de la résine, tantôt avec une force qui les rend capables de repousser un pendule électrisé avec du verre; et cela, sans qu'on puisse y remarquer de changement.

Mesure de l'intensité de l'électricité transmise par réfraction. Nous avons décrit à la page 222 une expérience propre à prouver la transmission de l'électricité par réfraction; il est important d'y revenir maintenant pour en étudier les circonstances :

Le conducteur isolé *c d*, *fig.* 119, qui se trouve soumis

à l'influence immédiate de la machine électrique, peut électriser un plan d'épreuve avec lequel on le touche en *c* et en *d* successivement; mais si on essaie la force de l'électricité dans ces deux cas, on la trouvera différente. A quelques exceptions près, et dont il est difficile d'indiquer toujours les causes, on observe qu'en *d* l'électricité que reçoit le plan d'épreuve le met à même de repousser un petit pendule électrisé par un tube de verre frotté; au lieu qu'en *c* il n'est électrisé qu'autant qu'il le faut pour repousser un pendule électrisé par un petit bâton de cire à cacheter. L'état des autres conducteurs isolés qui suivent *cd* est analogue, et ces effets sont indépendans de leur nature.

Ainsi nous pouvons regarder comme démontrés ces principes auxquels il faut admettre toutefois quelques exceptions :

1°. *Une électricité dont l'intensité égale celle qui se développe habituellement à la surface du verre qu'on frotte, se transmettant par réfraction* (de *b* en *c* *à travers l'air*), *perd une partie de sa force, et n'en conserve plus qu'une égale à celle de l'électricité que prennent les résines lorsqu'on les frotte.*

Et 2°. *Une électricité dont l'intensité égale celle qui se développe communément à la surface des résines qu'on frotte, se transmettant par réfraction* (de *c* en *d*), *acquiert une force égale à celle de l'électricité que prend ordinairement le verre frotté.*

Cette seconde partie paraît d'abord paradoxale; cependant, si l'on réfléchit à ce que nous avons dit précédemment sur l'intensité de l'électricité (*voy.* pag. 230), qui consiste non seulement dans la température, mais bien aussi dans l'épaisseur de la couche chaude, on concevra que la couche mince qui se trouve en *c*, et dont les pertes sont réparées par *b*, peut échauffer en *d* une couche plus épaisse.

D'après cela, il est facile d'expliquer les grandeurs

différentes des aigrettes occasionnées par les pointes dans diverses circonstances ; lorsqu'elles sont électrisées faiblement ou comme les résines le sont ordinairement, elles donnent de petites aigrettes qu'on prendrait même quelquefois pour un point lumineux, si on ne les regardait avec un verre grossissant ; si elles sont électrisées plus fortement ou comme le verre, elles produisent des aigrettes plus étendues. C'est ainsi qu'un conducteur qu'on approche d'un plateau ou d'un globe de verre électrisé par le frottement, donne, s'il est terminé par une pointe à chaque bout, une aigrette très-petite auprès de celle qui regarde le verre, et qui, d'après le premier principe, est faiblement électrisée par réfraction à travers l'air ; tandis qu'il produit vers la pointe la plus éloignée une aigrette plus étendue, à moins que le conducteur ne soit pas très-bon, comme du bois vert, par exemple ; car, dans ce cas, on n'observerait encore qu'une petite aigrette. Le plateau ou le globe de verre étant remplacé par un globe de soufre qu'on électrise aussi par le frottement, les effets doivent être précisément contraires, puisqu'alors c'est la partie du conducteur la plus voisine du globe qui s'électrise fortement par réfraction à travers l'air (*voy.* pag. 267 2°) ; tandis que la partie du conducteur le plus éloignée s'électrise moins fortement. L'expérience donne en effet ces résultats.

Déperdition de l'électricité. L'intensité de l'électricité varie encore avec le temps ; plusieurs causes qu'on ne peut pas mesurer avec exactitude concourent pour la diminuer sans cesse : le contact continuel de la couche où réside l'électricité avec l'intérieur du corps et avec l'air, la conducibilité des supports qui n'est jamais nulle, quoiqu'on puisse la rendre très-faible, sont les principales.

Le voisinage de deux corps électrisés augmente aussi beaucoup la déperdition de l'électricité ; l'air s'échauffe entr'eux, devient bon conducteur, et occasionne des pertes plus ou moins promptes, comme il arrive dans le cas de

l'étincelle, si ce n'est que les effets sont moins grands. C'est pour cela que dans l'expérience de la page 267, l'électricité transmise par elle aux parties *c* et *d* du conducteur isolé *c d*, disparaît aussitôt qu'on désélectrise la machine électrique en la touchant : entre ces parties *c* et *d* l'air s'échauffe (*voy.* pag. 219), et, devenant bon conducteur, il rend la déperdition très-prompte. On peut remédier à cet inconvénient en mettant la partie *d* en communication avec le sol ; la partie *c* s'électrise alors plus fortement, parce qu'elle ne perd plus à chaque instant à peu près toute la chaleur qu'elle reçoit, l'air qui la sépare de la partie *d* n'étant plus sensiblement échauffé ; et elle conserve de l'électricité lorsque, ayant fait cesser la communication avec le sol, on touche la machine électrique. On réussirait également en mettant la partie *c* en communication avec le sol, au lieu de la partie *d*.

Pouvoir des pointes. Le principe que nous venons de poser, et qui recevra un nouveau dégré d'évidence quand nous nous occuperons de la bouteille de Leyde et des condensateurs, peut servir à expliquer ce qu'on a désigné en électricité sous le nom de *pouvoir des pointes*. Lorsqu'on approche une pointe très-aiguë non isolée du conducteur de la machine électrique pendant qu'elle est en jeu, on n'obtient plus qu'une très-faible électricité ; les pointes ont donc le *pouvoir* de désélectriser les corps. Tel est le fait qui rentre dans ce que nous avons dit précédemment. Ne sait-on pas en effet que les pointes agissent fortement sur l'air pour l'échauffer (*voy.* pag. 240), même lorsqu'elles ont été électrisées à distance? Le conducteur de la machine communique donc dans cette circonstance plus ou moins parfaitement avec le sol, suivant que la pointe qui peut en être plus ou moins éloignée échauffe plus ou moins, concurremment avec lui, l'air qui l'en sépare. De là vient cette déperdition si rapide qu'elle empêche presque complètement la machine de s'électriser. Si la pointe était isolée,

elle acquerrait elle-même la vertu électrique, et la déperdition serait beaucoup moins considérable.

Une pointe vissée sur la machine électrique s'oppose aussi à ce qu'on l'électrise un peu fortement; mais son action n'est plus la même : elle agit fortement sur l'air (*voy.* pag. 240), excite des courans énergiques, ainsi qu'on peut s'en convaincre avec la main, et échauffe l'air de manière à produire une multitude innombrable de petites étincelles qui se présentent sous la forme d'une aigrette; ce sont ces effets qui causent la grande déperdition qu'on observe. En raison de sa forme, la pointe peut encore les produire lorsque le reste de la surface du conducteur n'est plus que très-peu électrisé.

Applications de l'électricité.

Machines électriques. En frottant avec la main des bâtons de différentes matières, on n'obtient que de faibles dégrés d'électricité, parce qu'on ne peut le faire ni assez vîte ni assez long-temps. Les physiciens, dans le but de rendre les effets plus grands, ont imaginé différentes machines qui ont permis de faire un grand nombre d'expériences qui exigent une forte électricité. On s'est servi d'abord d'une machine de rotation au moyen de laquelle on faisait tourner rapidement un globe de verre ou de soufre, contre lequel on appuyait la main ou un frottoir de cuir rembourré de crin et enduit de quelque matière propre à augmenter l'intensité de l'électricité; une chaîne attachée à un conducteur pendait au-dessus du globe, de manière que son extrémité venait aboutir à peu de distance de la partie frottée. Maintenant on emploie généralement une autre disposition, et l'on se sert, au lieu de globes, de larges plateaux de verre, qui donnent des effets plus grands, et peuvent être mis en jeu sans causer autant de fatigue. Cependant, comme les anciennes machines peuvent encore être employées pour

électriser le soufre et pour certaines expériences (1); que d'ailleurs il est souvent plus facile de se procurer un globe qu'un plateau, nous décrirons les deux espèces.

Les principales qualités d'une machine à globe sont les suivantes :

« 1°. Il faut (2) qu'elle soit assez grande et assez forte pour servir à toutes sortes d'expériences d'électricité. Ainsi il est bon que la roue ait au moins quatre pieds de diamètre, qu'elle soit portée sur un bâti bien solide et assez pesant, et qu'il y ait deux manivelles, afin qu'en employant deux hommes pour tourner en certains cas, on puisse forcer les frottemens du globe pour augmenter les effets. Il y a bien des circonstances où un seul homme ne suffirait pas.

» 2°. Il faut que l'axe de la roue soit à telle hauteur, que l'homme, qui est appliqué à la manivelle, se trouve en force et dans une situation non gênée. Cette hauteur doit être d'environ trois pieds et demi au-dessus du plancher, sur lequel la *machine* et l'homme sont placés.

» 3°. La corde de la roue doit communiquer immédiatement et sans renvoi avec la poulie du globe : premièrement, parce que les renvois, quels qu'ils puissent être, augmentent la résistance; il y en a déjà assez de la part d'un globe de 12 à 14 pouces de diamètre, dont on fait frotter l'équateur : secondement, des poulies de renvoi font toujours beaucoup de bruit, et il y a des occasions où l'on a besoin de silence en faisant ces sortes d'épreuves.

» 4°. Il faut que l'équateur du globe soit le plus isolé

(1) Dans les expériences de longue durée, le verre finit par s'échauffer un peu jusque dans son intérieur, comme cela arrive à tout corps qu'on frotte pendant long-temps, ce qui diminue beaucoup la force de l'électricité; avec une ancienne machine, on change alors facilement le globe et l'on continue l'opération; tandis que, d'après la construction des nouvelles machines, il est plus difficile de remplacer le plateau qu'on n'a d'ailleurs habituellement pas double.

(2) Dictionnaire de physique de Brisson.

qu'il sera possible, car on doit craindre que les corps voisins n'absorbent une partie de son électricité. Ainsi les poupées, qui portent les pointes pour un globe d'un pied de diamètre, doivent avoir au moins 10 pouces de hauteur entre les pointes et la tablette sur laquelle elles sont posées.

» 5°. Le globe doit être à une hauteur convenable, et se présenter de manière que celui qui doit le frotter soit dans toute sa force : il faut donc, pour bien faire, qu'il se trouve élevé de trois pieds ou environ au-dessus du plancher, et qu'il tourne vis-à-vis de celui qui le frotte, en lui présentant son équateur.

» 6°. Si les poupées tiennent au bâti de la roue, on doit faire en sorte qu'elles puissent s'approcher ou s'écarter toutes deux ensemble, afin qu'on puisse commodément tendre la corde, lorsqu'elle devient trop lâche.

» 7°. Comme les globes peuvent se casser, et que ceux qui les remplacent ne sont pas toujours de la même mesure, il faut que l'une des deux poupées soit mobile, de façon à pouvoir s'avancer vers l'autre ou s'en écarter de 5 ou 6 pouces de plus.

» 8°. Il y a des expériences que l'on fait avec deux globes qui tournent à la fois. Afin que la machine soit complète, il faut donc qu'il y ait de quoi placer un second globe, et que le mouvement de la même roue s'imprime en même temps à tous les deux. Il faut aussi que ces globes, dont les axes doivent être parallèles entr'eux, puissent s'approcher ou se reculer l'un de l'autre, quand leur grosseur variera, afin que les deux équateurs gardent toujours entr'eux à peu près la même distance.

» 9°. Si la machine peut être portative, sans préjudice à d'autres qualités plus essentielles, c'est un mérite de plus qu'on ne doit pas négliger de lui procurer.

» 10°. Enfin, si quelqu'un, dans la vue de quelque commodité, pensait à prolonger les poupées ou quelqu'autre partie de la machine, pour servir de support aux pièces qu'on veut suspendre près de la surface du globe pour les

électriser, il est bon de l'avertir qu'il s'expose à tout rompre et à se blesser; car l'ébranlement que cause le mouvement de la roue à la machine la plus solide, fera insensiblement vaciller la pièce suspendue; et si c'est quelque chose de fort pesant et de dur, comme une barre de fer, la moindre secousse la fera toucher au verre, avec risque de le casser. Le mieux est donc d'avoir un support séparé de la machine, et qui ne participe en aucune façon à ses ébranlemens.

» Une machine électrique, qui aura toutes les qualités dont on vient de parler, sera telle qu'elle doit être pour opérer commodément; et afin d'en rendre l'exécution facile à tout le monde, je vais, d'après M. l'abbé Nollet, en décrire une qui renferme toutes ces qualités, et dont il a fait usage pendant plus de 30 ans.

» AB, *ab* (*fig.* 138) sont deux pièces de bois de chêne ou de noyer, qui ont chacune sept pieds de longueur, et qui sont carrées, sous trois pouces de face : elles portent chacune trois montans C, D, E, *c*, *d*, *e*, qui sont assemblés haut et bas à neuf pouces de distance l'un de l'autre, par des traverses, dont deux, F, G, excèdent de quatre à cinq pouces de chaque côté, pour donner de l'empatement à la machine.

» Les quatre montans longs, savoir, C, D, *c*, *d*, portent par en haut deux pièces H I, *h i*, qui ont quatre pieds huit pouces de longueur, et qui forment, avec les traverses des montans, une espèce de chassis qui a en dedans quatre pieds deux pouces de longueur et neuf pouces de largeur.

» Les deux montans courts, E, *e*, assemblés en haut par une traverse M N (*fig.* 139), qui excède d'environ treize pouces par le côté M seulement, portent aussi deux pièces K L (*fig.* 138) semblables, qui s'assemblent dans les deux montans du milieu D, *d*.

» Sur ces deux dernières pièces, on établit une table chantournée qui est représentée par la *fig.* 140; et pour lui donner plus de solidité, on soutient la traverse excédente M N (*fig.* 139) par une console O.

» Au bas de ce bâti, on peut pratiquer entre les quatre grands montans C, D, *c*, *d*, (*fig.* 138) deux fonds, à sept ou huit pouces de distance l'un de l'autre, et remplir cet espace par un tiroir qui servira à placer les tubes, les barres de fer et autres instrumens qui dépendent de cette machine.

» On élèvera aussi dans le milieu de part et d'autre un montant YZ, qui empêchera les pièces HI, *h i*, de plier sous le poids de la roue; et l'on pourra, si l'on veut, remplir les angles des carrés avec des pièces de bois découpées qui serviront d'ornement.

» Les deux pièces HI, *h i*, portent au milieu deux espèces de socles entaillés, pour recevoir l'axe de la roue; et cet axe est retenu de chaque côté par deux coquilles de cuivre *k l* (*fig.* 141). La coquille *k* est noyée dans le bois, et l'autre s'applique par dessus, et s'arrête par le moyen de deux longues visses de fer qui traversent le socle et la pièce HI (*fig.* 138), et qui se serrent fortement avec des écrous. La coquille supérieure *l* (*fig.* 141) doit être percée d'un trou au milieu pour recevoir de l'huile quand il en est besoin.

» La partie de l'axe qui tourne dans chaque paire de coquilles doit être bien arrondie et bien adoucie, et l'extrémité de cette partie du côté de l'essieu doit avoir un épaulement, afin que la roue se contienne toujours dans sa place.

» Les bouts de l'axe qui reçoivent les manivelles sont des carrés vifs dont chaque côté a neuf à dix lignes, et le levier de chaque manivelle a environ dix pouces de longueur.

» Les globes sont montés entre deux poupées à pointes (*fig.* 142), dont une *f*, savoir; celle qui porte une pointe fixe est arrêtée à demeure sur la tablette *m n*; l'autre *g*, qui porte une pointe à vis, glisse dans une rainure à jour, et s'arrête par le moyen d'une grosse vis X, qui lui sert de queue.

» La tablette *m n*, ainsi chargée de son globe, se place sur la table chantournée (*fig.* 140) sur laquelle elle se meut

en avant et en arrière, pour tendre la corde autant qu'il en est besoin ; elle est guidée par deux tringles de bois P p, Q q, qui entrent dans les deux entailles R, R (*fig.* 142), et elle s'arrête par une grosse vis S qui traverse la tablette et la table ; c'est pour cela qu'on a fait la rainure à jour T (*fig.* 140) et l'ouverture carrée V, qui laisse la liberté de tourner l'écrou X (*fig.* 142) de la poupée à vis.

» Quand il sera question de faire tourner deux globes à la fois, il faudra en avoir un second monté entre deux poupées à pointes sur la tablette, de la même manière que celui de la *fig.* 142, que l'on placera sur la même table chantournée, *fig.* 140, en faisant passer la vis S par la rainure *s* ; et alors on croisera la corde sur les poulies des deux globes.

» Il est essentiel que, comme nous l'avons dit ci-dessus, l'une des deux pointes soit une vis qui fasse son écrou dans le bois même de la poupée *g* (*fig.* 142), afin qu'on puisse serrer le globe sans frapper ; mais on ne doit serrer les pointes qu'autant qu'il le faut pour empêcher qu'elles n'aient du jeu dans les trous où elles entrent ; autrement le verre serait contraint, et lorsqu'on viendrait à le dilater en le frottant, on courrait risque de le faire éclater avec beaucoup de danger pour ceux qui seraient auprès, et encore plus pour celui qui le frotterait. C'est encore une bonne précaution à prendre que de faire les trous un peu profonds dans le bois qui garnit les deux pôles du globe, de crainte que les poupées, dans le cas où elles reculeraient un peu, ne le laissassent échapper.

» Il est bon que la corde soit de boyau, et qu'elle n'excède pas la grosseur d'une médiocre plume à écrire.

» Il faut encore avoir attention que les gorges de la grande roue et des poulies soient creusées en angle, mais en angle un peu émoussé ou arrondi dans le fond, de manière pourtant que la corde soit toujours un peu pincée.

» Quant aux mesures de chaque pièce de la machine, on les reconnaîtra aisément par l'échelle qui est au bas de

la planche, et d'ailleurs la plupart peuvent souffrir de légers changemens.

» Si l'on veut peindre la machine avec une huile ou un vernis coloré, on empêchera par là que les bois ne se déjètent aitôt, et on lui donnera un air d'élégance qui plaît toujours. Cette décoration n'a paru jusqu'ici faire aucun tort aux expériences; il ne paraît pas non plus qu'elle y fasse aucun bien, comme on l'avait prétendu.

» Si l'on ne voulait pas faire la dépense d'une pareille machine, on pourrait se servir avec succès de tout autre équipage; ainsi, quiconque aura un tour et une roue de trois à quatre pieds de diamètre, comme on en a assez communément dans les laboratoires, n'a pas besoin de chercher autre chose. Au défaut d'un tour et de la roue dont nous venons de parler, on pourra se servir d'une roue de coutelier, de celle d'un cordier, ou même d'une vieille roue de carrosse, à laquelle on formera une gorge de bois rapporté, et l'on établira deux poupées à pointes sur un tréteau que l'on aura fixé à une muraille. En un mot, il sera aisé d'imaginer un appareil équivalent à la machine que nous venons de décrire; car il importe peu comment on fasse tourner le globe sur son axe, pourvu que le mouvement de rotation soit assez fort pour vaincre le frottement des mains qui appuient sur la surface extérieure du verre, et que les pointes tiennent à des piliers ou poupées assez solides pour ne pas laisser échapper le globe, tandis qu'on le fait tourner avec violence.

» Pour frotter commodément le globe, auquel on donne un mouvement de rotation par le moyen de notre machine électrique, il faut qu'on le fasse tourner selon l'ordre des chiffres 1, 2, 3, 4 (*fig.* 138.), et tenir les deux mains nues et bien sèches appliquées vers son équateur, et à la partie inférieure vers l'endroit marqué 4. En le faisant tourner dans ce sens plutôt que dans le sens opposé, la partie frottée est plus promptement arrivée au conducteur, et lui communique par là une plus forte électricité.

» On pourrait aussi électriser le globe, en y appliquant une étoffe ou quelque autre chose semblable : la plupart des Allemands et les Italiens se servent d'un coussinet couvert de peau, et quelques-uns enduisent cette peau de tripoli pulvérisé ; mais une main nue et sèche m'a toujours paru pour cela un moyen plus prompt, plus commode et plus efficace ; au lieu que l'électricité que rend le coussinet est très-lente, et ses effets sont toujours très-faibles, à moins qu'on ne fasse usage de l'amalgame dont nous parlerons ci-après. Si quelque raison peut engager à se servir du coussinet, c'est surtout la crainte que l'on a d'être blessé par des éclats de verre, si le globe venait à se casser lorsqu'il tourne. A la vérité, cette crainte est fondée ; mais, avec un peu d'attention et d'habitude, on peut se garantir de pareils accidens.

» Les Anglais ont imaginé depuis quelques années une machine électrique (*fig.* 144), dans laquelle on a substitué au globe un plateau circulaire de glace (1) qui en fait les fonctions. Ce plateau P*p*, qui est percé à son centre d'un trou rond, est monté sur un axe *a a* de cuivre ou de bois dur, auquel est adaptée une manivelle *a b*, par le moyen de laquelle on fait tourner le plateau. L'axe *a a* est soutenu sur deux montans verticaux de bois M*m*, N*n*, auxquels sont fixés quatre coussins *i*, *i*, de cuir rembourrés de crin, qui servent à frotter le plateau qui est placé entr'eux.

» Devant le plateau est placé horizontalement un conducteur de cuivre ECD, portant à l'une et l'autre de ses extrémités une boule E, D, de même métal, et terminé vers le conducteur par deux branches courbées A, B, qui sont elles-mêmes terminées par une petite boule qui porte une pointe fine de métal qui se présente au plateau, et par laquelle la vertu électrique se communique au conducteur.

(1) Il y a des espèces de verre qui s'électrisent mieux que d'autres ; cela dépend principalement des dégrés de dureté et de cuisson.

Ce conducteur est porté sur deux colonnes de verre F, G, qui servent à l'isoler.

» Les deux branches courbes A, B du conducteur sont ordinairement terminées chacune par un godet assez large, dans lequel on place plusieurs pointes. L'expérience m'a appris que cette pluralité de pointes est nuisible, et qu'avec une pointe unique dans chaque godet, la vertu électrique se fait plus vivement sentir; ce qui m'a engagé à essayer d'ôter le godet, et n'y laisser qu'une pointe. Mon essai m'a très-bien réussi; car, dans ce dernier cas, l'énergie de la vertu électrique a été plus grande que dans tous les autres.

» Pour rendre les coussins *i*, *i*, meilleurs et plus propres à l'effet qu'on en attend, il faut les enduire d'un amalgame fait d'étain et de mercure à consistance de beurre, et n'y pas mettre de craie, comme on le fait ordinairement, car cette substance attire beaucoup l'humidité de l'air; ce qui nuit considérablement à la vertu électrique.

» Comme, dans cette machine, on peut employer un très-grand plateau de glace, et qu'on peut ainsi avoir une grande étendue de surface frottée tout à la fois, on peut espérer de ces sortes de machines des effets beaucoup plus grands que ceux que peuvent fournir les machines à globe ».

Toutefois, dans cette dernière machine, on remarque aussi quelques inconvéniens : au moyen des pointes qui terminent le conducteur du côté du verre, l'électricité se transmet à la vérité beaucoup plus facilement; mais si l'on cesse de tourner le plateau, elle se perd aussi avec une grande rapidité. Les godets dont il a été question plus haut, en diminuant, par l'obstacle qu'ils leur opposent, les courans qui sont ordinairement si rapides vers les pointes, empêchent que la déperdition soit aussi brusque; cet avantage est suffisant pour justifier leur usage. Un second inconvénient est la grande étendue du chemin que doit parcourir chaque partie du plateau, après avoir été frottée, avant d'arriver en face de la pointe du conducteur : on peut y remédier en adaptant à la machine des quarts de cercle

en taffetas gommé (mauvais conducteur), qui, recouvrant les parties électrisées du plateau, s'opposent à l'établissement des courans d'air qui sont la principale cause de la diminution d'intensité de l'électricité. Avec cette précaution, l'effet de la machine est beaucoup plus grand, surtout si le plateau a un diamètre un peu considérable.

Enfin, pour terminer ce que nous devons dire relativement à la machine électrique, nous ferons remarquer que, d'après le principe établi précédemment à la page 268, il y aurait un grand désavantage à laisser auprès du verre électrisé les cousins électrisés eux-mêmes par le frottement ; pour éviter la déperdition qui s'ensuivrait, il faut donc avoir soin de ne pas les isoler ; en les mettant en communication avec le sol, on leur fait perdre leur électricité à mesure qu'ils l'acquièrent. Les colonnes de verre qui servent de support au conducteur étant presque constamment imprégnées d'une légère couche d'humidité qui occasionnerait encore des pertes rapides, il est bon aussi d'avoir la précaution de les enduire d'un vernis de gomme-laque, substance qui n'a pas comme le verre une grande affinité pour l'eau.

La machine électrique est un instrument dont on se sert dans presque toutes les expériences sur l'électricité : dans ce qui précède, nous en avons souvent supposé l'usage ; par la suite, l'occasion de l'employer se représentera encore fréquemment. Ce qui y a rapport étant ainsi disséminé dans une grande étendue, nous ne décrirons ici que quelques expériences curieuses qu'on peut faire par son moyen :

1°. On accroche à la machine électrique l'appareil représenté dans la *fig.* 132, qui se compose d'un cylindre creux de verre, contenant un grand nombre de petites balles de moëlle de sureau, et terminé à chaque bout par un plateau métallique. On établit ensuite une communication entre le plateau inférieur et le sol, puis on met la machine en mouvement. A l'instant, les boules commencent à exécuter des oscillations en allant d'un plateau à l'autre, et elles ne s'arrêtent que quand la machine cesse de tourner. L'expli-

cation à donner ici est la même que celle de la danse des pantins (*voy.* pag. 232).

2°. La *fig.* 133 représente un carillon dont les effets sont les mêmes que ceux indiqués à la page 233; il est destiné à faire voir la facilité avec laquelle les corps terminés en pointe s'électrisent lorsqu'ils sont dans le voisinage d'un corps électrisé. Les tiges ombrées doivent être en métal, les autres en verre.

3°. Au moyen de petits losanges découpés dans une feuille d'étain très-minces et collés sur du verre de manière que la pointe de chacun d'eux soit séparée de la pointe du suivant par un petit espace (*fig.* 134), on peut obtenir dans l'obscurité des dessins lumineux de toute sorte. Il suffit pour cela de disposer les losanges convenablement, et de mettre le premier d'entr'eux en communication avec la machine et le dernier en communication avec le sol; des étincelles se succèdent rapidement dans les espaces qui séparent les pointes, et dont l'ensemble peut évidemment former des lignes ponctuées lumineuses ayant une forme arbitraire. La *fig.* 135 représente un appareil avec lequel on peut produire une colonne lumineuse formée par une ligne en hélice : il se compose d'un tube terminé de part et d'autre par une monture en cuivre, et contenant un second tube sur la surface extérieure duquel les losanges sont collés. Le premier de ces losanges communique avec l'une des garnitures et le dernier avec l'autre; par ce moyen, il est facile d'établir, comme nous l'avons dit plus haut, les communications avec la machine électrique et le sol.

Au lieu de losanges, on peut encore se servir de perles métalliques qu'on enfile avec de la soie et qu'on sépare par des nœuds. Lorsqu'on en a préparé une bonne longueur, on en forme des guirlandes ou des dessins quelconques qu'il est facile d'illuminer, en mettant pendant l'obscurité la première perle en contact avec la machine électrique en jeu, et la dernière en contact avec le sol; ce qui détermine de nombreuses étincelles entre toutes les perles.

4° La *fig.* 136 représente un vase de verre ayant la forme d'un œuf, et qu'on nomme pour cette raison *l'œuf électrique*. Il est terminé à un bout par une monture en cuivre à boîte à cuir, dans laquelle une tige peut glisser avec frottement. A l'autre bout se trouve une autre monture à robinet qui peut être vissée sur la machine pneumatique, et qui porte une seconde tige située dans l'intérieur du vase. La distance qui sépare les boules placées aux extrémités des deux tiges peut varier ; on l'augmente ou on la diminue en faisant mouvoir convenablement la tige mobile.

Ayant fait le vide dans cet appareil, on met l'une des deux tiges à une très-petite distance de la machine électrique en jeu, et l'autre en communication avec le sol : des étincelles très-multipliées partent entre la machine et la première tige ; et, comme l'air raréfié est un assez bon conducteur, une brillante lumière, composée d'un nombre prodigieux de petites étincelles très-rapprochées les unes des autres, remplit aussitôt le vase et présente un magnifique spectacle, surtout si l'expérience est faite dans les ténèbres. En éloignant un peu la tige qui était presqu'en contact avec la machine, elle reçoit des étincelles qui produisent dans le vase des lueurs momentanées qui ont beaucoup de ressemblance avec les éclairs, et qui reparaissent pendant quelque temps après que l'expérience est finie.

Souvent on emploie au lieu du vase dont nous venons de parler un tube dans lequel on fait le vide ; on peut alors se servir du même instrument pour faire une autre expérience assez intéressante. Elle consiste en ce que, si l'on cherche à électriser un tube ainsi préparé en frottant sa surface extérieure, il devient lumineux à l'intérieur, et n'acquiert pas la propriété d'attirer les corps légers, comme cela arrive ordinairement.

Certains baromètres deviennent lumineux dans leur partie supérieure quand on les agite un peu ; c'est encore un fait analogue aux précédens. Le mercure, en frottant les parois intérieures du tube, les électrise, et elles agissent ensuite

sur la vapeur mercurielle ou les autres gaz qui occupent la chambre barométrique, lorsque le baromètre est imparfait.

5°. Un globe enduit de cire d'Espagne par dedans, et que l'on frotte après l'avoir purgé d'air, devient aussi lumineux intérieurement ; mais ce qu'il y a de plus remarquable, c'est qu'en regardant par l'un des pôles que l'on a soin de ne point enduire comme le reste, on aperçoit la main et les doigts de celui qui frotte, nonobstant l'opacité naturelle de la cire d'Espagne.

Electrophore. L'électrophore est un instrument très-facile à construire, et qui peut dans bien des cas remplacer une machine électrique. Il se compose d'un gâteau de résine ou de bois enduit d'une couche de résine, et d'un disque, ayant un diamètre un peu moins grand, de bois revêtu d'une feuille métallique (d'étain, par exemple); ce second disque est muni d'un manche isolant (voy. *fig.* 137).

Lorsqu'on veut s'en servir, on frotte avec une peau de chat la surface de la résine de manière à l'électriser aussi fortement qu'on le peut ; puis on pose dessus le disque métallique qu'on touche ensuite avec le doigt et qu'on enlève par son manche isolant. Ce disque est alors capable de donner une étincelle assez forte pour enflammer des gaz, et produire un grand nombre des effets qu'on obtient avec les machines ordinaires. Le contact avec le doigt est ici nécessaire, parce que la surface de la résine n'étant jamais bien plane, ne touche le disque métallique que par ses points les plus saillans, d'où il résulte qu'elle ne communique presque pas d'électricité par contact : elle agit bien plus à distance, et nous avons vu précédemment (page 269) que, dans ce cas, il fallait, pour que l'action fût efficace, mettre momentanément le conducteur à électriser en communication avec le sol. Si on négligeait cette précaution, on obtiendrait bien encore une étincelle, mais elle serait plus faible ; et si l'on cherchait à recommencer l'expérience sans frotter de nouveau la résine, on ne réussirait pas, parce que le

premier contact ayant désélectrisé les points les plus saillans, ils ne pourraient plus agir d'une manière bien sensible sur le disque métallique par leur contact. Au contraire, lorsqu'on a soin de toucher avec le doigt le corps du conducteur avant de l'enlever, on rend efficace l'action à distance de la surface de la résine; et, comme elle ne perd par cette action qu'une faible partie de son électricité (si ce n'est dans les points où elle est touchée), on peut faire un grand nombre de fois l'expérience avec succès.

Condensateurs. Les condensateurs sont des instrumens composés essentiellement d'une lame d'un corps mauvais conducteur ayant une forme quelconque en contact par chacune de ses faces avec des lames métalliques qu'elle dépasse un peu tout autour. Leur effet est d'augmenter la force de l'électricité de manière qu'on peut rendre sensible par leur moyen celle qui se développe dans des circonstances défavorables et dont on ne saurait pas reconnaître immédiatement la production; et rendre celle qui est déjà naturellement forte capable de produire de plus grands résultats.

La *fig.* 145 représente un condensateur; les parties ombrées sont en métal, et la lame qui n'est pas ombrée peut être du verre, ou de la résine, ou un vernis de gomme-laque appliqué sur les disques métalliques, ou un morceau de taffetas gommé. Le disque métallique supérieur est muni d'un manche isolant.

La *fig.* 146 *bis* en représente un d'une autre forme, et qu'on nomme aussi *bouteille de Leyde* (1). C'est une bouteille remplie de limaille de fer ou de feuilles métalliques, et bouchée au moyen d'un liège que traverse un crochet de métal; la surface extérieure de cette bouteille est recouverte par une feuille d'étain jusqu'à une certaine distance du

(1) Ville où la propriété des condensateurs fut découverte.

goulot : ces matières métalliques s'appellent les *armures intérieure* et *extérieure* de la bouteille (1).

Quad on veut électriser fortement une bouteille de Leyde, on l'accroche à la machine électrique, ou on établit d'une façon quelconque la communication entre l'une de ses armures et la machine électrique en jeu, puis on met l'autre armure en communication avec le sol. Après quelques instans, si l'on saisit la bouteille par l'armure qui était en communication avec la terre, et qu'on présente de suite l'autre armure à un pendule électrique, on reconnaîtra facilement que l'électricité est plus forte que celle de la machine elle-même ; et, si on établit la communication avec un bon conducteur entre les deux armures, on obtiendra une étincelle beaucoup plus forte que celles que la machine peut donner ; après quoi la bouteille sera *déchargée*, c'est-à-dire qu'elle ne sera presque plus électrisée.

Nous avons ici plusieurs circonstances à examiner :

1°. L'accroissement de force de l'électricité provient de ce que la surface intérieure de la bouteille (nous supposerons qu'on l'a électrisée en l'accrochant à la machine) ayant été pendant quelque temps en communication avec le conducteur de la machine, s'est échauffée jusqu'à une certaine profondeur autant que l'était ce conducteur à sa surface, et nous avons vu (pag. 230), que jusqu'à un certain point une augmentation dans la profondeur de la couche électrique était une augmentation dans la force de l'électricité. Quant au conducteur, il ne peut pas s'échauffer lui-même à une profondeur correspondante à une aussi forte électricité, parce que les déperditions de sa couche électrique sont plus rapides, tant par le contact qu'elle a avec son intérieur qui est bon conducteur, que par l'action de l'air.

(1) Pour armure intérieure, on emploie quelquefois de l'eau dont on remplit en partie la bouteille, ou bien on raréfie au moyen de la machine pneumatique l'air qu'elle contient.

2°. L'armure extérieure doit être mise en communication avec le sol, pour que l'expérience réussisse complètement; parce que, si l'on accrochait seulement la bouteille au conducteur de la machine électrique, l'armure intérieure électriserait fortement par réfraction l'armure extérieure (on peut s'en assurer directement par l'expérience); et alors, entre celle-ci et le crochet, l'air s'échaufferait jusqu'à devenir assez bon conducteur, un courant ascendant s'établirait et ferait éprouver à chaque instant à la bouteille des pertes assez considérables pour qu'elle ne s'électrise que très-peu. Au contraire, quand l'armure extérieure communique avec la terre, elle ne peut être que faiblement électrisée, et par suite les déperditions de la surface intérieure par l'air sont très-faibles, ce gaz n'étant plus assez échauffé pour cesser d'être très-mauvais conducteur.

Plusieurs faits peuvent d'ailleurs être rapportés à l'appui de ce que nous venons de dire :

Après avoir *chargé* deux bouteilles également, on en pose une sur un tabouret isolant, et on met l'autre sur le plancher; la première se désélectrise beaucoup plus rapidement que la seconde, et l'on peut constater qu'après quelques instans son armure extérieure avait été électrisée par son armure intérieure.

Un second fait assez intéressant consiste en ce que si, avant la désélectrisation complète de la bouteille placée sur le tabouret, on approche un pendule électrique d'une de ses armures, à une distance telle que l'attraction soit à peine sensible, et qu'ensuite on touche l'autre armure pour la désélectriser, l'attraction deviendra aussitôt beaucoup plus forte; ce qui prouve que l'armure non touchée perdait à chaque instant une partie beaucoup plus grande de l'électricité qu'elle recevait du verre, lorsque l'armure touchée était aussi électrisée.

Il y a donc un grand désavantage à ne pas empêcher les armures de s'électriser toutes deux à la fois, soit qu'on

veuille charger la bouteille, soit qu'on veuille la conserver chargée.

3°. Enfin, on n'obtient qu'une faible étincelle, lorsqu'on approche un corps bon conducteur d'une seule des armures de la bouteille posée sur le tabouret isolant, parce que cette armure a peu d'étendue, et que le verre cède assez lentement son électricité pour n'en perdre que très-peu dans cette circonstance. L'étincelle est forte, au contraire, lorsqu'ayant mis une extrémité d'un corps bon conducteur en contact avec une armure de la bouteille, l'armure extérieure, par exemple, on approche son autre extrémité de l'autre armure. Dans ce cas, l'air qui se trouve entre le conducteur et la boule du crochet qui communique avec l'armure intérieure est placé entre deux corps électrisés, car la surface intérieure du verre agit sans cesse par réfraction sur l'armure extérieure, et celle-ci sur tout corps qui la touche. Cet air devra donc s'échauffer plus fortement et devenir par suite meilleur conducteur; ce qui fera éprouver à l'armure et au verre qui tendront à se mettre en équilibre de chaleur avec lui de grandes pertes, et augmentera conséquemment de plus en plus sa température et sa masse, parce qu'il agira lui-même sur l'air environnant. Si à cela nous joignons que le verre est difficile à échauffer et à refroidir (*voy.* tom. 1^er^, pag. 127), c'est-à-dire qu'il peut échauffer une masse d'air bien plus considérable que du métal ne le pourrait faire, toutes choses égales d'ailleurs; et que la profondeur de la couche électrique peut être plus grande dans le verre que dans le conducteur de la machine électrique (*voy.* p. 284); nous ne serons plus surpris de voir la force de l'étincelle si grande, et telle qu'il faudrait des conducteurs métalliques ayant un grand nombre de pieds carrés en surface pour produire autant d'effet qu'une bouteille de verre en ayant un seul.

La force de l'étincelle et la grande quantité d'air chaud avec laquelle le verre se trouve en communication, explique la désélectrisation presque complète de la bouteille, et pourquoi

elle ne donne plus que des étincelles très-faibles, lorsqu'elle a déjà servi à faire l'expérience. Le peu de force des étincelles qu'on obtient quand on touche successivement les deux armures de la bouteille pendant qu'elle est sur le tabouret, explique aussi pourquoi on peut en exciter un très-grand nombre avant de l'avoir complètement déselectrisée.

La grandeur de la bouteille influe beaucoup sur la force de l'étincelle; plus elle est considérable, et plus l'étincelle est forte. C'est ici comme pour les conducteurs métalliques (*voy.* pag. 240). Lorqu'on veut produire de grands effets, on prend des bouteilles très-grandes, ou on en dispose plusieurs de manière qu'il y ait communication entre toutes leurs armures intérieures d'une part, et, d'autre part, toutes leurs armures extérieures; leur ensemble agit alors comme une bouteille dont la surface égalerait celles de toutes les bouteilles ainsi réunies. Ce dernier instrument se nomme une *batterie électrique*; on le charge et on le décharge comme une simple bouteille de Leyde.

Les condensateurs étant susceptibles, quoique peu étendus, de s'électriser de manière à produire de grands effets, on les emploie plus volontiers que les conducteurs métalliques, quand on veut arriver à des résultats difficiles à obtenir. Nous allons faire connaître diverses expériences qu'on peut facilement répéter par leur moyen, et qui ne réussiraient avec la machine électrique seule qu'autant qu'on joindrait des conducteurs métalliques très-vastes à ceux dont elle est ordinairement munie.

Première expérience. On prend dans une main une bouteille de Leyde chargée, puis on touche le crochet avec l'autre main. Un peu avant le contact, une étincelle part, la bouteille se décharge et fait éprouver à la personne qui fait l'expérience une commotion plus ou moins forte, suivant la grandeur de la bouteille et le dégré d'électricité de la machine avec laquelle on l'a chargée. Cette commotion se fait sentir dans les articulations des bras, et jusque dans

la poitrine et les entrailles, lorsqu'elle est forte ; elle peut même aller jusqu'à renverser la personne et la tuer, si l'on emploie des batteries assez considérables au lieu d'une seule batterie.

Un grand nombre de personnes peuvent, en se donnant les mains, former une chaîne propre à faire la même expérience, et ressentir toutes à la fois la commotion, lorsque les deux personnes qui terminent cette chaîne, touchent, l'une l'armure intérieure, l'autre l'armure extérieure. Toutefois, quand on est placé au milieu de la chaîne, on éprouve une commotion un peu moins vive.

Lorsqu'on veut décharger une bouteille de Leyde ou une batterie sans recevoir la commotion, on se sert d'un instrument appelé *excitateur*, qui consiste en un arc métallique terminé par deux boules ; une charnière pratiquée vers son milieu permet de le fermer plus ou moins. On met une des boules en contact avec l'armure par laquelle on tient la bouteille, et on approche l'autre boule de l'autre armure jusqu'à ce que l'étincelle parte. La bouteille se trouve ainsi déchargée, et on ne ressent point la commotion.

La commotion vient de ce que certaines parties du corps meilleurs conducteurs que les autres, se trouvant fortement électrisées au moment de la décharge, tant parce qu'elles sont alors en communication avec la face intérieure (nous supposons toujours qu'on tient la bouteille par sa panse) par le moyen de l'air chaud, que parce qu'elles sont en communication avec la face extérieure que la face intérieure électrise par réfraction, sont désélectrisées brusquement et avant les autres : on conçoit que ce changement subit ne peut manquer de produire une sensation très-vive. Nous allons voir d'ailleurs une preuve de leur énergie dans l'expérience suivante.

Deuxième expérience. On dispose une petite plaque de verre entre deux pointes métalliques de manière qu'elles ne soient séparées que par l'épaisseur de cette plaque, et l'on

a soin de mettre une petite goutte d'huile aux points de contact. L'une de ces pointes est isolée et terminée à une de ses extrémités par une boule, l'autre est munie d'une petite chaîne qu'on fait communiquer avec l'armure extérieure par exemple; puis on approche le crochet de la bouteille de la boule qui termine la pointe isolée. Au moment où la décharge s'opère, la portion du verre qui sépare les deux petites gouttes d'huile se trouve fortement électrisée et réduite en poussière, parce que ses parties ayant été brusquement dilatées, n'ont pas pu rester unies au reste du verre qui n'avait pas partagé cette grande élévation de température, ou, ce qui est la même chose, cette forte électricité; c'est un moyen facile de percer le verre, et qu'on peut quelquefois mettre à profit. On conçoit aussi qu'il peut arriver que la rupture du verre soit une suite de la dilatation dont nous venons de parler : ce résultat nous est offert en effet par l'expérience, quoique assez rarement.

La *fig.* 129 représente un appareil qu'on nomme *perce-carte;* il est analogue au précédent : seulement les pointes, au lieu d'être disposées perpendiculairement aux surfaces, sont placées parallèlement à ces surfaces, et leurs extrémités sont à une distance plus grande que l'épaisseur de la carte. Au moment de la décharge, l'étincelle part entre le crochet de la bouteille et la boule de la pointe isolée; une seconde étincelle éclate entre les deux pointes, et au moment du vide (*voy.* pag. 239), l'air qui occupe les pores de la carte, ou plutôt les intervalles qui séparent les filamens dont elle est composée, se dilate en vertu de sa tension, sort par les deux faces en déchirant la carte dans un très-petit espace, et forme ainsi un trou avec des bavures des deux côtés.

Troisième expérience. D'après le principe que nous avons exposé à la page 267, l'armure de la bouteille qui est en communication avec le sol, l'armure extérieure par exemple, étant électrisée par réfraction par l'armure inté-

rieure, doit l'être avec une force égale à celle de l'électricité que le frottement développe habituellement sur les résines. C'est ce que l'expérience confirme en effet ; mais ce fait n'est pas très-constant. Malgré cela, comme il arrive presque toujours, on peut se servir des bouteilles de Leyde pour électriser plus ou moins fortement des corps qu'on touche avec l'une ou l'autre armure. On en fait usage dans une expérience assez intéressante qui se prépare de la manière suivante :

On charge une bouteille en mettant son crochet en contact avec la machine électrique et sa panse en communication avec le sol ; puis, en la tenant par son armure extérieure, on promène la boule de son crochet sur un gâteau de résine, en suivant certains contours qui forment un dessin quelconque. Ensuite, après avoir déchargé la bouteille, on la recharge, mais en mettant son crochet en communication avec le sol ; puis la posant sur un tabouret isolant, on la saisit par la panse, et on promène encore la boule du crochet sur le gâteau de résine, suivant d'autres lignes que les précédentes. On aura ainsi des parties de la surface résineuse électrisées fortement (les premières touchées), d'autres électrisées faiblement (les dernières touchées), et enfin le reste de cette surface ne sera pas électrisé.

Au moyen d'un soufflet dans lequel on a introduit un mélange de soufre et de minium en poudre, on injecte alors ces deux substances sur la résine. Pendant leur trajet, elles se frottent l'une contre l'autre et s'électrisent, le soufre avec une intensité à peu près égale à celle de l'électricité des parties du gâteau de résine les premières touchées, et le minium avec une intensité à peu près égale à celle de l'électricité des parties touchées en dernier lieu. Il résulte de là que le soufre est repoussé par les premières lignes et attiré par les dernières sur lesquelles il va se fixer, et qu'il colore en jaune ; tandis que le minium, par des raisons contraires, va colorer les autres en rouge. On conçoit d'ailleurs que

ces lignes ont pu être disposées de manière à former un dessin quelconque jaune et rouge.

Quatrième expérience. On dispose différens corps dans le circuit qui doit établir la communication entre les deux armures d'une batterie par des moyens analogues à ceux qu'on a vu employés dans le perce-verre et le perce-carte, et l'on observe que l'électricité peut, s'ils sont très-fins, agir sur eux au moment de la décharge de la manière suivante :

Un fil de fer de plusieurs pouces de longueur est échauffé par une faible décharge, une forte le fait rougir, une plus forte le fait jaillir en petits globules fondus qui sont lancés au loin, et une plus forte encore le réduit en vapeur. Avec une batterie très-puissante, Van-Marum en a fondu un de cinquante pieds de longueur.

Une bande étroite de feuille d'étain, de trois ou quatre pouces de longueur, est volatisée par une batterie ordinaire, et sa vapeur passe à l'état d'oxide. Beaucoup d'autres corps peuvent aussi être échauffés plus ou moins fortement, fondus ou oxidés, mais pas avec la même facilité ; parmi les métaux, les plus mauvais conducteurs éprouvent de plus petits effets, toutes choses égales d'ailleurs. En soumettant à l'action d'une batterie des fils de soie dorés, on peut volatiliser le métal qui les recouvre, sans que le fil de soie soit brûlé.

Lorsqu'au lieu des corps très-minces, on emploie des masses métalliques, les fortes batteries en liquéfient la surface aux endroits qui sont le plus soumis à leur action. Si le métal est peu fusible, elles déterminent un cercle de fusion ayant une ou deux lignes de diamètre ; si le métal est très-fusible, elles peuvent produire en outre jusqu'à trois anneaux de fusion concentriques avec le premier cercle, et séparés les uns des autres par des intervalles d'environ une ligne.

Cinquième expérience. La *fig.* 147 représente une découpure *dcpr* en papier, à laquelle sont collées deux bandes

de feuille d'étain F et F′ ; on la couvre d'un côté avec une feuille d'or qui touche ces deux bandes métalliques, et de l'autre avec un ruban de satin ; et pour établir un contact parfait, on met le tout sous la presse *pp′*, *fig.* 148. On met ensuite successivement les deux feuilles d'étain en communication avec les armures de la batterie, l'étincelle éclate, et l'or qui est volatilisé se dépose par tous les jours de la découpure sur le ruban où il forme une *empreinte* brune très-régulière.

Les condensateurs dont il a été question à la page 283, et dont un est représenté par la *fig.* 145, se chargent et se déchargent comme les bouteilles de Leyde ; leurs effets sont les mêmes, et la seule différence qu'ils offrent consiste dans leur forme. On les emploie pour constater le développement de l'électricité dans certaines circonstances. Pour faire bien comprendre leur usage, supposons qu'on ait une machine électrique dans laquelle la substance frottée soit si difficile à électriser, qu'on ne puisse pas reconnaître immédiatement qu'elle s'électrise ; on chargera le condensateur par son moyen, et la force de l'électricité devenant plus grande dans cet instrument, il arrivera souvent que le disque supérieur enlevé au moyen de son manche isolant sera capable d'attirer le pendule, quoique le conducteur en fût lui-même incapable.

Au lieu d'une machine électrique, on peut avoir tout autre instrument. Veut-on, par exemple, constater que le papier sec s'électrise quand on le frotte, on en prendra une bande qu'on passera entre les deux doigts en la pressant un peu, puis on l'appliquera contre le disque supérieur du condensateur, et l'on recommencera la même opération un grand nombre de fois ; après cela, il sera facile de constater le développement de l'électricité (quoiqu'elle fût très-faible dans le papier), en présentant au pendule ou à l'aiguille électrique le disque supérieur du condensateur au moyen de son manche isolant.

Afin de n'avoir qu'une seule opération à faire, on a réuni dans un seul instrument qu'on nomme condensateur

à lames d'or, un condensateur et un électroscope ; cet instrument est représenté dans la *fig.* 149. Il se compose d'un condensateur à vernis de gomme-laque, dont le disque inférieur est vissé sur une tige métallique qui traverse la monture *m n* d'une petite cloche de verre, et vient aboutir dans son intérieur ; l'extrémité de cette tige reçoit deux lames d'or qui y sont adhérentes par contact, et qui pendent verticalement. Pour empêcher que l'humidité de l'air s'oppose à la conservation de l'électricité, on renferme cet instrument dans une cage en verre, et on leur donne un support commun dans lequel on a pratiqué un tiroir qui communique avec la cage et avec l'intérieur de la cloche. En plaçant dans ce tiroir une substance qui ait beaucoup d'affinité pour la vapeur d'eau, comme la chaux vive, le sel marin fondu par le feu, etc., on garantit l'instrument des effets de l'humidité de l'atmosphère.

On se sert de cet instrument comme des autres condensateurs : on met le disque inférieur en communication avec le sol, et le disque supérieur en contact avec le corps qu'on présume électrisé ; on renouvelle le contact un grand nombre de fois, en ayant soin à chaque opération de replacer le corps soumis à l'expérience dans les circonstances où il se trouvait d'abord (par exemple, s'il s'agit de prouver que le papier sec s'électrise par le frottement, on le passe entre ses doigts avant chaque contact). Ensuite on supprime la communication avec le sol, puis on enlève le plateau supérieur, afin que son voisinage n'empêche pas le plateau inférieur de s'électriser *(voy.* pag. 268) par l'action de la gomme-laque, et l'on juge enfin qu'il y avait eu développement d'électricité, à ce que les deux lames d'or qui se trouvent alors électrisées également s'écartent l'une de l'autre : elles ne changent pas de position lorsqu'il n'y a aucun développement d'électricité. Cet instrument est très-sensible ; il peut faire reconnaître de faibles dégrés d'électricité.

Application de l'électricité aux paratonnerres. Pendant bien

des siècles, les hommes furent dans une ignorance complète sur la nature et la manière d'agir de la foudre ; ce fut seulement lorsque les physiciens eurent observé le phénomène de l'étincelle électrique, qu'on commença à soupçonner qu'il pourrait n'y avoir qu'une différence d'intensité entre la cause des attractions et des répulsions des corps frottés ou électrisés par quelque moyen que ce soit, et la cause de ces effets étonnans que la foudre nous laisse voir lorsqu'elle éclate. On se borna d'abord à remarquer des ressemblances plus ou moins parfaites dans les effets, puis on les vit se soutenir à mesure que les découvertes se succédèrent : on observa, par exemple, que l'étincelle électrique, lorsqu'elle était forte, avait une forme en zig-zag (1) ; qu'elle pouvait mettre le feu ; fendre et percer du bois, du verre ; fondre et oxider des métaux ; tuer des animaux, etc... de même que la foudre qui produit seulement des effets beaucoup plus considérables, tels que fendre des arbres et en projeter au loin certaines parties (2), faire entendre un bruit plus grand et qui se trouve répété par les échos, briser des pierres, etc... Plus tard, des expériences furent tentées pour s'assurer directement de ces conjectures déjà si probables : Franklin lança vers des nuages orageux un cerf-volant qui fut électrisé par eux à distance, et dont la corde donna des étincelles piquantes. En France, M. de Romas fit la même expérience ; mais, en formant la corde en partie de fils métalliques assez fins pour qu'ils fussent très-flexibles, il obtint des étincelles de 9 ou 10 pieds de longueur et d'un pouce de grosseur, qui faisaient autant de bruit qu'un coup de pistolet : une d'elles l'atteignit, malgré toutes ses précautions, et il en fut renversé.

(1) Cette forme est due à ce que l'air chaud qui devient bon conducteur entre les deux corps électrisés ne se trouve pas disposé en ligne droite.

(2) Une partie de l'arbre se trouve alors réduite en charbon, et les gaz et les vapeurs qui en ont été dégagées sont la cause qui a fendu l'arbre, et en a jeté au loin certaines parties.

Ces expériences et d'autres faites avec des barres métalliques terminées en pointe, isolées et élevées au-dessus des bâtimens, qui donnèrent des résultats analogues, et qui coûtèrent la vie à un physicien qui les répéta sans prendre des précautions suffisantes, prouvent d'une manière incontestable que la foudre n'est qu'une très-forte étincelle électrique.

D'après cela, on explique aisément l'espèce de préférence que la foudre semble accorder à certaines matières qu'elle foudroie sans en attaquer d'autres qui semblent cependant plus exposées à son action : on sait que pour que l'étincelle éclate entre deux corps, il faut que tous deux soient fortement électrisés, et que, à distance, les bons conducteurs seuls s'électrisent suffisamment. Il est aussi facile de concevoir pourquoi, lorsque plusieurs corps également bons conducteurs sont voisins les uns des autres, elle attaque le plus élevé et le plus pointu (1). Enfin, tous les effets de la foudre deviennent susceptibles d'être expliqués comme ceux que produisent les machines dont nous nous servons habituellement; et, pour s'en préserver, il ne faut que se placer dans le voisinage d'un corps bon conducteur, élevé, terminé en pointe et communiquant exactement avec une grande étendue de corps bons conducteurs. Un appareil de ce genre s'appelle un *paratonnerre*. On en adapte aux édifices, et quand la foudre éclate au-dessus d'eux, ils n'en sont point atteints, pourvu que les paratonnerres satisfassent à certaines conditions dont la nécessité sera très-facile à saisir, d'après les principes démontrés précédemment. Comme on a souvent besoin d'en faire établir, nous devons donner tous les détails de leur construction; pour cela, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire ici la partie-pratique d'une instruction rédigée, d'après l'invitation du Ministre

(1) Cela arrive ainsi, parce qu'il est plutôt que les autres assez électrisé pour rendre bon conducteur une partie de l'air qui le sépare du nuage électrisé.

de l'intérieur, par une commission de l'Académie des Sciences, dont M. Gay-Lussac était le rapporteur :

PARTIE-PRATIQUE.

Détails relatifs à la construction des paratonnerres.

« Un paratonnerre est une barre métallique ABCDEF (*fig.* 151), s'élevant au-dessus d'un édifice, et descendant, sans aucune solution de continuité, jusque dans l'eau d'un puits ou dans un sol humide. On donne le nom de tige à la partie verticale AB, qui se projette dans l'air au-dessus du toit, et celui de conducteur à la portion de la barre BCDEF, qui descend depuis le pied B de la tige jusque dans le sol.

De la tige.

» La tige est une barre de fer carré BA, amincie de sa base à son sommet, en forme de pyramide. Pour une hauteur de 7 à 9 mètres (21 à 27 pieds), qui est la hauteur moyenne des tiges qu'on place sur les grands édifices, on lui donne à sa base de 54 à 60 millimètres de côté (24 à 26 lignes); on lui donnerait 63 millimètres (28 lignes), si elle devait s'élever à 10 mètres (30 pieds (1).

» Le fer étant très-exposé à se rouiller par l'action de l'eau et de l'air, la pointe de la tige serait bientôt émoussée; pour obvier à cet inconvénient, on retranche de l'extrémité de la tige AB (*fig.* 152) une longueur AH d'environ 55 centimètres (20 pouces), et on la remplace par une tige conique de cuivre jaune, dorée à son extrémité,

(1) La manière la plus avantageuse de faire une barre pyramidale est de souder bout à bout des morceaux de fer, chacun d'environ 80 centimètres (2 pieds et demi) de longueur, et d'un calibre décroissant.

ou terminée par une petite aiguille de platine A G de 5 centimètres (2 pouces) de longueur (1).

» L'aiguille de platine est soudée à la soudure d'argent avec la tige de cuivre; et pour qu'elle ne puisse point s'en séparer, ce qui arriverait quelquefois malgré la soudure, on renforce l'ajustage par un petit manchon de cuivre, comme le montre la *fig.* 153. La tige de cuivre se réunit à la tige de fer au moyen d'un goujon qui entre à vis dans toutes deux; il est d'abord fixé dans la tige de cuivre par deux goupilles à angle droit, et on le visse ensuite dans la tige de fer dans laquelle il est aussi retenu par une goupille *(voy. fig.* 154). On peut, sans aucune espèce d'inconvénient, ne point employer de platine, et se contenter de la tige conique de cuivre, et même ne pas la dorer si on n'en a pas la facilité sur les lieux. Le cuivre ne s'altère pas profondément à l'air; et en supposant que sa pointe s'émoussât légèrement, le paratonnerre ne perdrait pas pour cela son efficacité.

» Une tige de paratonnerre, de la dimension supposée, étant d'un transport difficile, on la coupe en deux parties A I et I B *(fig.* 152), au tiers ou aux deux cinquièmes environ de sa longueur, à partir de sa base. La partie supérieure A D *(fig.* 154) s'emboîte exactement, par un tenon pyramidal D E de 19 à 20 centimètres (7 ou 8 pouces), dans la partie inférieure E B, et une goupille l'empêche de s'en séparer. On doit cependant, autant qu'on le pourra, ne faire la tige que d'une seule pièce, parce qu'elle en aura plus de solidité (2).

(1) On peut remplacer l'aiguille de platine par une aiguille faite avec l'alliage des monnaies d'argent, qui est composé de neuf parties d'argent et une de cuivre.

(2) On fait la partie E G *(fig.* 154), qui reçoit le tenon pyramidal D F, de la manière suivante : On prend une forte feuille de fer que l'on roule en cylindre, et que l'on soude en G avec la barre B G ; ensuite, au moyen d'un mandrin de la forme que doit avoir le tenon et de chauffes successives, on parvient facilement à réunir des deux bords, et à lui donner, tant intérieurement qu'extérieurement, la forme pyramidale.

» Au bas de la tige, à 8 centimètres (3 pouces) du toit, est une embase MN (*fig.* 154) soudée au corps même de la tige ; elle est destinée à rejeter l'eau de pluie qui coulerait le long de la tige, et à l'empêcher de s'infiltrer dans l'intérieur du bâtiment, et de pourrir les bois de la toiture (1).

» Immédiatement au-dessus de l'embase, la tige est arrondie sur une étendue d'environ 5 centimètres (2 pouces), pour recevoir un collier brisé à charnière O, portant deux oreilles, entre lesquelles on serre l'extrémité du conducteur du paratonnerre, au moyen d'un boulon. Au lieu du collier, on peut faire un étrier carré qui embrasse étroitement la tige ; on en voit la projection verticale en Q (*fig.* 155), et le plan en R (*fig.* 156), ainsi que la manière dont il se réunit avec le conducteur. Enfin, on peut encore, pour diminuer le travail, souder un tenon T (*fig.* 157) à la place du collier ; mais il faut avoir soin de ne pas affaiblir la tige en cet endroit qui est celui où elle doit opposer le plus de résistance, et le collier et l'étrier sont préférables.

» La tige du paratonnerre se fixe sur le toit des bâtimens, selon les localités. Si elle doit être posée au-dessus d'une ferme B (*fig.* 157 et 158), on perce le faîtage d'un trou dans lequel on fait passer le pied de la tige, et on l'assujettit contre le poinçon au moyen de plusieurs brives, comme on le voit dans la figure. Cette disposition est très-solide et doit être préférée lorsque les localités le permettent.

» Lorsqu'on doit fixer la tige sur le faîtage en A (*fig.* 158), on le perce d'un trou carré de mêmes dimensions que le pied de la tige ; et par dessus et en dessous, on fixe, avec quatre boulons ou deux étriers boulonnés qui embrassent et serrent le faîtage, d'une plaque de fer de 2 centimètres (9 lignes) d'épaisseur, portant chacune un trou

(1) Pour faire l'embase, on soude un anneau de fer sur la tige, et on l'étire circulairement sur l'enclume, en inclinant ses bords de manière à obtenir un cône tronqué très-aplati.

correspondant à celui fait dans le bois. La tige s'appuie par un petit collet sur la plaque supérieure contre laquelle on la presse fortement au moyen d'un écrou se vissant sur l'extrémité de la tige contre la plaque inférieure ; la *fig.* 159 montre le plan de l'une de ces plaques. Mais si l'on pouvait s'appuyer sur le lien CD (*fig.* 158), on souderait à la tige deux oreilles qui embrasseraient les faces supérieures et latérales du faîtage, et descendraient jusqu'au lien sur lequel on les fixerait au moyen d'un boulon E. Enfin, si le paratonnerre devait être placé sur une voûte, on le terminerait par trois ou quatre empâtemens, ou par des contre-forts qu'on scellerait dans la pierre, comme d'ordinaire, avec du plomb.

Du conducteur du paratonnerre.

» Le conducteur du paratonnerre est, comme on l'a dit, une barre de fer BCDEF (*fig.* 151), ou B′ C′ D′E′ F′, partant du pied de la tige et se rendant dans le sol. On donne à cette barre de 15 à 20 millimètres (7 à 8 lignes) en carré, mais 15 millimètres (7 lignes) sont réellement suffisans. On la réunit solidement à la tige en la pressant entre les deux oreilles du collier O (*fig.* 154), au moyen d'un boulon ; ou bien on la termine par une fourchette M (*fig.* 156), qui embrasse la queue N de l'étrier, et on boulonne les deux pièces ensemble.

» Le conducteur ne pouvant être d'une seule pièce, on réunit plusieurs barres bout à bout pour le former. La meilleure manière est celle représentée par la *fig.* 160. Il est soutenu à 12 ou 15 centimètres (5 ou 6 pouces), parallèlement au toit, par des crampons à fourche, auxquels, pour empêcher l'infiltration de l'eau par leur pied dans le bâtiment, on donne la forme suivante :

» Au lieu de se terminer en pointe, ils ont une patte (*fig.* 161 et 162) formée par une plaque mince de 25 centimètres de long sur 4 de large, à l'extrimité de laquelle

s'élève la tige du crampon, en faisant avec la plaque ou un angle droit (*fig.* 161), ou un angle égal à celui que forme le toit avec la verticale (*fig.* 162), la patte se glisse entre les ardoises; mais pour plus de solidité, on remplace par une lame de plomb l'ardoise sur laquelle elle reposerait, et on cloue ensemble, au-dessus d'un chevron, cette lame et la patte du crampon. Le conducteur est retenu dans chaque fourchette par une goupille rivée, et les crampons sont placés à environ 5 mètres les uns des autres.

» Le conducteur, après s'être replié sur la corniche du bâtiment (*fig.* 151) sans la toucher, s'applique contre le mur le long duquel il doit descendre dans le sol, et se fixe au moyen de crampons que l'on fiche ou que l'on scelle dans la pierre. Arrivé en D ou en D′ dans le sol, 50 ou 55 centimètres (18 ou 20 pouces) au-dessous de sa surface, il se recourbe perpendiculairement au mur suivant DE ou D′E′, se prolonge dans cette nouvelle direction l'espace de 4 à 5 mètres (12 à 15 pieds), et s'enfonce ensuite dans un puits EF, ou dans un trou E′F′ fait dans la terre, de la profondeur de 4 ou 5 mètres (12 à 15 pieds), si l'on ne rencontre pas l'eau, mais de moins si on la rencontre plus tôt.

» Le fer enfoncé dans le sol, en contact immédiat avec la terre humide, se couvre d'une coquille qui gagne peu à peu son centre, et finit par le détruire; on évite cette altération en faisant courir le conducteur dans un auget rempli de charbon DE ou D′E′, qu'on a représenté en grand dans la *fig.* 163. On construit l'auget de la manière suivante: Après avoir fait une tranchée dans le sol, de 50 à 60 centimètres (20 à 22 pouces) de profondeur, on y pose un rang de briques à plat, sur le bord desquelles on en place d'autres de champ; on met une couche de braise de boulanger de l'épaisseur de 3 à 4 centimètres (1 à 1 demi-pouce) sur les briques du fond; on pose le conducteur DE par dessus; on achève de remplir l'auget de braise, et on le ferme par un rang de briques.

» La tuille, la pierre ou le bois peuvent également être employés pour former l'auget. On a l'expérience que le fer, ainsi enveloppé de charbon, n'éprouve aucune altération dans l'espace de trente années. Mais le charbon n'a pas seulement l'avantage d'empêcher le fer de se rouiller dans la terre ; comme il conduit très-bien l'électricité quand il a été rougi (et c'est pour cela que nous avons recommandé d'employer la braise de boulanger), il en facilite la propagation dans le sol.

» Le conducteur sortant de l'auget dont on vient de parler, perce le mur du puits dans lequel il doit descendre, et s'immerge dans l'eau de manière à y rester plongé de 65 centimètres (2 pieds) au moins dans les plus basses eaux. Son extrémité se termine ordinairement par deux ou trois racines, pour faciliter la transmission de l'électricité du conducteur à l'eau. Si le puits est placé dans l'intérieur du bâtiment, on percera le mur de ce dernier au-dessous du sol, et on dirigera par l'ouverture qu'on aura faite le conducteur dans le puits.

» Lorsqu'on n'a pas de puits à sa disposition pour y faire descendre le conducteur du paratonnerre, on fait dans le sol, avec une tarrière de 13 à 16 centimètres (5 à 6 pouces) de diamètre, un trou de 3 à 5 mètres (9 à 15 pieds) de profondeur ; on y fait descendre le conducteur, en le tenant à égale distance de ses parois ; on en remplit l'espace intermédiaire avec la braise que l'on comprime autant que possible. Mais lorsqu'on voudra ne rien épargner pour établir un paratonnerre, nous conseillons de creuser un trou beaucoup plus large E′ F′ (*fig.* 151), au moins de 5 mètres de profondeur ; à moins qu'on ne rencontre de l'eau plus tôt ; de terminer l'extrémité du conducteur par plusieurs racines ; de les envelopper de charbon, si elles ne plongent pas dans l'eau ; et d'en entourer de même le conducteur au moyen d'un auget en bois que l'on emplira.

» Dans un terrain sec, comme, par exemple, dans un roc, on donnera à la tranchée qui doit recevoir le conducteur

une longueur au moins double de celle qui a été indiquée pour un terrain ordinaire, et même davantage, s'il était possible d'arriver jusque dans un endroit humide. Si les localités ne permettent pas d'étendre la tranchée en longueur, on en fera d'autres transversales, comme on le voit en A (*fig.* 167 et 168), dans lesquelles on placera de petites barres de fer entourées de braise, que l'on fera communiquer avec le conducteur. Dans tous les cas, l'extrémité de ce dernier doit s'enfoncer dans un large trou, s'y diviser en plusieurs racines, et être recouverte de braise ou de charbon qui aura été rougi.

» En général, on doit faire les tranchées pour le conducteur dans l'endroit le plus humide autour du bâtiment, les placer par conséquent dans les lieux les plus bas, et diriger au-dessus les eaux pluviales, afin de les tenir dans un état plus constant d'humidité. On ne saurait trop prendre de précautions pour procurer au conducteur une facile communication avec le sol; car c'est principalement de cette circonstance que dépend l'efficacité des paratonnerres.

» Les barres de fer qui forment le conducteur présentent, en raison de leur rigidité, quelque difficulté pour leur faire suivre les contours d'un bâtiment; on a imaginé de les remplacer par des cordes métalliques qui, indépendamment de leur flexibilité, ont encore l'avantage d'éviter les raccords et de diminuer les chances de solution de continuité. On réunit 15 fils de fer pour faire un toron, et 4 de ces torons forment la corde qui alors a 16 à 18 millimètres (7 à 8 lignes) de diamètre. Pour prévenir sa destruction par l'air et l'humidité, chaque toron est goudronné séparément, et la corde l'est ensuite avec beaucoup de soin. On l'attache à la tige du paratonnerre de la même manière que le conducteur fait avec des barres de fer, c'est-à-dire qu'on la pince fortement au moyen d'un boulon entre les deux oreilles du collier B (*fig.* 165), qui sont un peu concaves et hérissées de quelques pointes pour mieux embrasser et retenir la corde. Les crampons qui la supportent sur le

toit, au lieu d'être terminés en fourche, le sont par un anneau O (*fig.* 162), dans lequel passe la corde. Parvenue à deux mètres (6 pieds) du sol, on la réunit à une barre de fer de 15 à 25 millimètres (6 à 9 lignes) en carré qui termine le conducteur, comme on le voit en C (*fig.* 166): car, dans le sol, la corde serait promptement détruite. On assure que les cordes ainsi employées n'ont pas éprouvé d'altération sensible dans l'espace de trente années. Néanmoins, comme il est incontestable que les barres de fer bien assemblées sont beaucoup moins destructibles, nous conseillerons de leur donner la préférence autant qu'on le pourra. Si les localités obligeaient à employer des cordes, on pourrait les faire en fil de cuivre ou de laiton, qui est beaucoup moins destructible, et qui, étant aussi meilleur conducteur, permettrait de donner aux cordes 16 millimètres (6 lignes) de diamètre. C'est surtout pour les clochers que les cordes métalliques peuvent être d'une grande utilité, à cause de la facilité de leur pose.

» Si le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme des pièces métalliques un peu considérables, comme des lames de plomb qui recouvrent le faîtage et les arrêtes du toit, des gouttières en métal, de longues barres de fer pour assurer la solidité de quelque partie du bâtiment, il sera nécessaire de les faire toutes communiquer avec le conducteur du paratonnerre; mais il suffira d'employer pour cet objet des barres de 8 millimètres (3 lignes) de côté, ou du fil de fer d'un égal diamètre. Si cette réunion n'avait pas lieu, et que le conducteur renfermât quelque solution de continuité, ou qu'il ne communiquât pas très-librement avec le sol, il serait possible que la foudre se portât avec fracas du paratonnerre sur quelqu'une des parties métalliques. Plusieurs accidens ont eu lieu par cette cause; on en trouve deux exemples dans la première partie de cette instruction (1)

(1) Nous devons plusieurs des détails de construction que nous venons de donner à M. Mérot, habile constructeur de paratonnerres,

Paratonnerres pour les Eglises.

» Le paratonnerre dont on vient de donner les détails de construction, et que l'on a pris pour type, est applicable à toute espèce de bâtimens, aux tours, aux dômes, aux clochers et aux églises, avec de très-légères modifications.

» Sur une tour, la tige du paratonnerre doit s'élever de 5 à 8 mètres (15 à 25 pieds), suivant l'étendue de sa plate-forme; 5 mètres suffiront pour les plus petites, et 8 pour les plus grandes.

» Les dômes et les clochers, dominant ordinairement de beaucoup les objets environnans, un paratonnerre placé à leur sommet en tire un très-grand avantage pour étendre son influence au loin, et n'a pas besoin, pour les protéger, de s'élever à la même hauteur que sur les édifices terminés par un toit très-étendu. D'un autre côté, l'impossibilité d'établir solidement des tiges de 7 à 8 mètres (21 à 24 pieds) sur les dômes et les clochers, sans des dépenses considérables, doit faire renoncer à en employer dans ces dimensions. Nous conseillons donc pour ces édifices, et surtout, pour ceux dont le sommet est d'un accès difficile, de n'employer que des tiges minces, s'élevant de 1 à 2 mètres (3 à 6 pieds), au-dessus des croix qui les terminent. Ces tiges étant alors très-légères, il sera facile de les fixer solidement à la tête des croix, sans que la forme de ces dernières paraisse altérée de loin, et sans que le mouvement des girouettes qu'elles portent ordinairement soit gêné.

Nous pensons même que, pour peu qu'on éprouve des difficultés à placer ces tiges sur un dôme ou sur un clocher, on peut les supprimer entièrement; il suffira, pour défendre ces édifices des atteintes de la foudre, d'établir, comme

---

qui, à notre demande, nous a communiqué avec empressement les résultats de sa pratique.

pour le cas où ils sont armés de tiges, une communication très-intime entre le pied de chaque croix et le sol. Cette disposition qui est très-peu dispendieuse, et qui offre également une très-grande sureté, sera surtout avantageuse pour les clochers des petites communes rurales. La *fig.* 173 représente un clocher sans tige de paratonnerre, dont la croix est en communication avec le sol, au moyen d'un conducteur partant de son pied; et la *fig.* 174 offre un clocher surmonté d'une tige attachée à sa croix.

» Quand aux églises, lorsqu'elles ne seront pas protégées par le paratonnerre de leur clocher, il sera nécessaire de les armer avec des tiges de 5 à 8 mètres (15 à 24 pieds) de haut, semblables à celle qui a été décrite pour un édifice aplati (1).

Paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières.

» La construction des paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières ne diffère pas essentiellement de celle qui a été décrite comme type pour toute espèce de bâtiment; on doit seulement redoubler d'attention pour éviter la plus légère solution de continuité, et ne rien épargner pour établir entre la tige du paratonnerre et le sol la communication la plus intime. Toute solution de continuité donnant lieu, en effet, à une étincelle, le pulvérien qui voltige et se dépose partout dans l'intérieur et même à l'extérieur de ces bâtimens serait enflammé, et pourrait propager son inflammation jusqu'à la poudre. C'est par ce motif qu'il serait très-prudent de ne point placer les tiges

(1) La *fig.* 175 représente la tige du paratonnerre fait avec luxe, comme on en place sur quelques bâtimens; elle porte une girouette en forme de flèche, immobile sur des galets, pour son mouvement plus doux qui fait connaître la direction du vent au moyen de lignes fixes orientées N. S. O. E; à sa base est un socle en cuivre mince dont la forme est arbitraire.

sur les bâtimens même, mais bien sur des mâts qui en seraient éloignés de 2 à 3 mètres (*fig.* 176). Il sera suffisant de donner aux tiges 2 mètres de longueur; mais on donnera aux mâts une hauteur telle, qu'avec leur tige ils dominent les bâtimens au moins de 4 à 5 mètres. On fera aussi très-bien de multiplier les paratonnerres plus qu'on ne le ferait partout ailleurs, car ici les accidens sont plus funestes. Si le magasin était très-élevé, comme, par exemple, une tour, les mâts seraient d'une construction difficile et dispendieuse pour leur donner de la solidité : on se contenterait dans ce cas d'armer le bâtiment d'un double conducteur ABC (*fig.* 177), sans tige de paratonnerre, qu'on pourrait faire en cuivre. Ce conducteur, n'étendant pas son influence au-delà du bâtiment, ne pourrait attirer la foudre de loin, et il aurait cependant l'avantage de garantir le bâtiment de ses atteintes, s'il en était frappé; de sorte que ceux-là même qui rejettent les paratonnerres, parce qu'ils croient qu'ils déterminent la foudre à tomber sur un bâtiment qu'elle eût épargné sans eux, ne pourraient faire aucune objection fondée contre la disposition qui vient d'être indiquée. On pourrait armer d'une manière semblable un magasin ordinaire ou tout autre bâtiment (*fig.* 178). A défaut de paratonnerres, des arbres élevés, disposés autour des bâtimens à 5 ou 6 mètres de leurs faces, les défendent efficacement de la chute de la foudre.

Paratonnerres pour les bâtimens de mer.

» Pour un vaisseau (*fig.* 179), la tige du paratonnerre se réduit à la partie en cuivre A (*fig.* 154), qui a été décrite pour le paratonnerre-type. Cette tige est vissée sur une verge de fer ronde CB (*fig.* 180) qui entre dans l'extrémité J de la flèche du mât de perroquet, et qui porte une girouette. Une barre de fer MQ, liée au pied de la verge, descend le long de la flèche, et se termine par un crochet ou anneau Q, auquel s'attache le conducteur du

paratonnerre, qui est ici une corde métallique. Celle-ci est maintenue, de distance en distance, à un cordage *g g* (*fig.* 179); et après avoir passé dans un anneau *b* fixé au porte-hauban, elle se réunit à une barre ou plaque de métal qui communique avec le doublage en cuivre du vaisseau. Sur les bâtimens de peu de longueur, on n'établit ordinairement qu'un paratonnerre au grand mât; sur les autres, on en met un second au mât de misaine. La *fig.* 179 peut représenter également l'un ou l'autre de ces deux mâts, sur lesquels les paratonnerres sont établis exactement de la même manière.

Disposition générale des paratonnerres sur un édifice.

» On admet, d'après l'expérience, qu'une tige de paratonnerre protège efficacement contre la foudre, autour d'elle, un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur. Ainsi, d'après cette règle, un bâtiment de 20 mètres (60 pieds) en long ou en carré n'aurait besoin, pour être défendu, que d'une seule tige de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hauteur, élevée sur le milieu de son toit (*fig.* 164 et 167). Dans la *fig.* 167, le conducteur est une corde métallique.

» Un bâtiment de 40 mètres (120 pieds), d'après la même règle, serait défendu par une tige de 10 mètres (30 pieds), et on en place effectivement de semblables; mais il serait préférable, au lieu d'une seule tige, d'en élever deux de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hauteur, et de les disposer de manière que l'espace autour d'elles fût également protégé de toute part; ce à quoi on parviendrait en les plaçant chacune à 10 mètres (30 pieds) de l'extrémité du bâtiment, et par conséquent à 20 mètres (60 pieds) l'une de l'autre (*fig.* 168). Pour trois ou un plus grand nombre de paratonnerres, on suivrait la même règle.

» Les paratonnerres des tours et des clochers, en raison de leur grande élévation, doivent certainement étendre leur

sphère d'action plus loin que s'ils étaient moins élevés ; mais cette action s'étend-elle, comme on l'a supposé pour des tiges de 5 à 10 mètres, à une distance double de la hauteur de leur pointe au-dessus des objets qu'ils dominent ? Il est possible qu'elle s'étende même plus loin ; mais l'expérience ne nous ayant encore rien appris à cet égard, il sera prudent d'armer les églises de paratonnerres, en admettant que ceux des clochers ne protègent efficacement autour d'eux qu'un espace d'un rayon égal à leur hauteur au-dessus du faîtage de leur toit. Ainsi, le paratonnerre d'un clocher s'élevant de 30 mètres au-dessus du toit d'une église, ne le défendrait plus à 30 mètres de l'axe du clocher ; et si le toit s'étendait au-delà, il serait nécessaire d'y placer des paratonnerres d'après la règle que nous avons prescrite pour les édifices peu élevés (voy. *fig.* 169 et 170).

Disposition générale des conducteurs des paratonneres.

» Quoique nous ayons déjà beaucoup insisté sur la condition d'établir une communication très-intime entre la tige des paratonnerres et le sol, son importance nous détermine à la rappeler encore. Elle est telle que, si elle n'était pas remplie, non seulement les paratonnerres perdraient beaucoup de leur efficacité, mais que même ils pourraient devenir dangereux, en appelant la foudre sur eux, quoique dans l'impuissance de la conduire dans le sol.

» Les autres conditions dont il nous reste à parler sont sans doute moins essentielles que cette dernière, mais elles n'en méritent pas moins qu'on y ait égard.

» L'on doit toujours conduire l'électricité, depuis la tige du paratonnerre jusque dans le sol, par la voie la plus courte.

» Conformément à ce principe, lorsqu'on placera deux paratonnerres sur un édifice, et qu'on leur donnera un conducteur commun, ce qui est en effet suffisant, on fera concourir en un point sur le toit, à égale distance de

chaque tige, les portions des conducteurs qui ne peuvent être communes, et, à partir de ce point, une barre de fer, de la même dimension que pour un seul paratonnerre, servira de conducteur aux deux (voy. *fig.* 168 et 169).

» Lorsqu'on aura trois paratonnerres sur un édifice, il sera prudent de leur donner deux conducteurs (*fig.* 170). En général, chaque paire de paratonnerres exige son conducteur particulier. Quel que soit le nombre des paratonnerres placés sur un édifice, on les rendra tous solidaires en établissant une communication intime entre les pieds de toutes leurs tiges, au moyen de barres de fer de même dimension que celles des conducteurs (voy. *fig.* 170, 171, 172).

» Lorsque les localités le permettront, on placera les conducteurs sur les murs des bâtimens qui font face au côté d'où viennent le plus fréquemment les orages dans chaque lieu. En effet, ces murs étant exposés à être mouillés par la pluie, deviennent des conducteurs, quoique imparfaits, en raison de la mince nappe d'eau qui les couvre; et si le conducteur du paratonnerre n'était pas en communication intime avec le sol, il serait possible que la foudre l'abandonnât pour se précipiter sur la face mouillée. Un autre motif encore, c'est que la direction de la foudre peut être déterminée par celle de la pluie, et qu'en outre la face mouillée peut, comme conducteur, appeler la foudre de préférence au paratonnerre. C'est surtout pour les clochers que cette observation est importante, et qu'il est nécessaire d'y avoir égard.

Observation sur l'efficacité des paratonnerres.

» Une expérience de 50 années sur l'efficacité des paratonnerres démontre que, lorsqu'ils ont été construits avec les soins convenables, ils garantissent de la foudre les édifices sur lesquels ils sont placés. Dans les Etats-Unis d'Amérique, où les orages sont beaucoup plus fréquens et

plus redoutables qu'en Europe, leur usage est devenu populaire; un très-grand nombre de bâtimens ont été foudroyés, et l'on en cite à peine deux qu'ils n'aient pas mis entièrement à l'abri de la foudre. Tout le monde sait que les parties métalliques sur un édifice sont frappées de préférence par la foudre, et ce fait seul démontre l'efficacité des paratonnerres, qui ne sont que des barres métalliques disposées de la manière la plus avantageuse, d'après les connaissances acquises sur l'électricité par la théorie et l'expérience. La crainte d'une chute plus fréquente de la foudre dans le lieu où ils sont établis, ne doit pas empêcher d'en construire : il paraît au contraire certain, d'après l'observation, que les édifices armés de paratonnerres ne sont pas foudroyés plus fréquemment qu'avant qu'ils ne le fussent. D'ailleurs, la propriété d'un paratonnerre d'attirer plus facilement la foudre, supposerait aussi celle de la transmettre librement dans le sol, et dès-lors il ne pourrait en résulter aucun inconvénient pour la sureté des édifices.

» Nous avons recommandé l'usage des pointes aiguës pour les paratonnerres; cependant, lorsque la pointe d'un paratonnerre aura été émoussée par la foudre ou par une cause quelconque, il ne faudra pas croire qu'elle ait perdu son efficacité pour protéger le bâtiment qu'elle est destinée à défendre. Le docteur Rittenhouse rapporte qu'ayant souvent examiné et passé en revue, avec un excellent télescope de réflexion, les pointes des paratonnerres de Philadelphie, où ils sont en grand nombre, il en a vu beaucoup dont les pointes étaient fondues; mais qu'il n'a jamais appris que les maisons où ces paratonnerres étaient établis eussent été frappées de la foudre depuis la fusion de leurs pointes. Or, cela n'aurait pas manqué d'arriver à quelques-unes, au moins au bout d'un certain temps, si leurs paratonnerres n'avaient pas continué à bien faire leurs fonctions; car on sait, par nombre d'observations, que, lorsque le tonnerre est tombé en quelque endroit, il n'est pas rare de l'y voir tomber encore.

» Pour que le fruit que l'on doit retirer de l'établissement des paratonnerres soit aussi grand que possible, et que l'on puisse profiter de l'expérience acquise sur une localité, pour la faire tourner à l'avantage général, nous formons le vœu que Son Excellence le Ministre de l'intérieur, après avoir ordonné l'exécution d'une mesure réclamée depuis long-temps, et dont elle sent toute l'utilité, invite les autorités locales à lui transmettre fidèlement tous les renseignemens relatifs à la chute de la foudre sur un édifice armé de paratonnerres. Ces renseignemens seraient la source d'améliorations importantes, et contribueraient, en faisant connaître les avantages d'un préservatif aussi simple et aussi sûr, à en rendre l'adoption plus générale ».

Après avoir fait connaître les précautions à prendre pour que les paratonnerres soient efficaces, il ne nous reste plus qu'à parler du phénomène assez singulier du *choc en retour*, et de donner une idée complète de la grandeur des effets de la foudre, en rapportant quelqu'une des observations qui ont été faites sur ce sujet.

Tout corps placé assez près d'un nuage orageux est électrisé par lui ; on peut même dire que tout le sol qui se trouve au-dessous l'est plus ou moins : ainsi une personne qui se trouve en A (*fig.* 181) par exemple, au-dessous de la queue du nuage, est électrisée avec une intensité qui dépend des circonstances. Pendant qu'elle se trouve dans cet état, il arrive quelquefois que le nuage donne une étincelle à d'autres corps, à des arbres ou à des bâtimens élevés ; il perd alors une partie de son électricité, et devient subitement incapable de maintenir le dégré d'électricité du corps de la personne dont il s'agit, aussi élevé ; il en résulte que cette personne est promptement désélectrisée en partie par la terre. Ce changement brusque qui s'opère en elle et se fait sentir sans doute en premier lieu dans ceux de ses organes qui conduisent le mieux l'électricité, a beaucoup de ressemblance avec celui que produit une étincelle directe, à l'intensité près ; aussi fait-il éprouver une sen-

sation du même genre, une commotion moins forte. Quelquefois cependant elle suffit pour donner la mort, quoiqu'en général elle ne soit pas à craindre. C'est à ce phénomène qu'on a donné le nom de *choc en retour* (1).

Relation des malheurs arrivés à Châteauneuf-les-Moustiers, le 11 juillet 1819, adressée à l'Académie des Sciences par M. Trancalye, vicaire-général de Digne. « Il y a un village appelé Châteauneuf, dans l'arrondissement de Digne, département des Basses-Alpes, au sud-est, et limitrophe de la petite ville de Moustiers, connue par une manufacture de faïence, dont l'émail et la qualité justifient la préférence qu'on lui accorde sur toutes celles du royaume. Il est situé au sommet et à l'extrémité de l'une des premières montagnes des Alpes qui forment un amphithéâtre sur Moustiers. Il consiste en quatorze maisons réunies au presbytère et à l'église paroissiale, sur une éminence coupée par les angles de deux autres montagnes, l'une au levant et l'autre au couchant. L'intervalle qui sépare le village de la montagne du levant est si étroit et si profond, que l'aspect en est effrayant. Cent cinq habitations sont dispersées en hameaux, presque tous sur le penchant de la montagne du levant, et forment une population de cinq cents ames.

» Le 11 juillet 1819, jour de dimanche, M. Sallomé, curé de Moustiers et commissaire épiscopal, alla à Châteauneuf pour y installer un nouveau recteur. Vers les dix heures et demie, on se rendit en procession de la maison curiale à l'église. Le temps était beau; on remarquait seulement quelques gros nuages. La messe fut commencée par le nouveau recteur.

» Un jeune homme de dix-huit ans, qui avait accompagné M. le curé de Moustiers, chantait l'épître, lorsqu'on

(1) Ce nom se rapporte à une théorie autre que celle que nous présentons dans ce traité; mais, comme il est généralement adopté, nous ne l'avons pas changé.

entendit trois détonnations de tonnerre qui se succédèrent avec la rapidité de l'éclair. Le missel lui fut enlevé des mains et mis en pièces; il se sentit lui-même serré étroitement au corps, ensuite au cou. Alors, par un mouvement involontaire, ce jeune homme, qui avait d'abord jeté de grands cris, ferma la bouche, fut renversé, roulé sur les personnes rassemblées dans l'église, qui toutes avaient été terrassées et jetées ainsi hors la porte. Revenu à lui, sa première idée fut de rentrer dans l'église pour se rendre auprès de M. le curé de Moustiers, qu'il trouva asphyxié et sans connaissance. Ce jeune homme fixa sur ce respectable et infortuné pasteur l'attention et les soins de ceux qui, légèrement blessés, pouvaient donner des secours. On le releva, on éteignit la flamme de son surplis, et par le moyen du vinaigre on le rappela à la vie, environ deux heures après son évanouissement. Il vomit beaucoup de sang. Il assure n'avoir pas entendu le tonnerre, et n'avoir rien su de ce qui se passait. On le porta au presbytère. Le fluide électrique avait touché fortement la partie supérieure du galon d'or de son étole, coulé jusqu'au bas, enlevé un de ses soulfers qu'il porta à l'extrémité de l'église, et brisé la boucle de métal. Le siège sur lequel il était assis fut brisé.

» Le surlendemain, M. le curé fut transporté dans son presbytère, à Moustiers, pour être pansé de ses blessures, qui n'ont été cicatrisées que deux mois après. Il avait une escarre de plusieurs travers de doigt à l'épaule droite; une autre s'étendant du milieu postérieur du bras du même côté jusqu'à la partie moyenne et extérieure de l'avant-bras; une troisième escarre, profonde, partait de la partie moyenne et postérieure du bras gauche, et allait jusqu'à la partie moyenne de l'avant-bras du même côté; une quatrième plus superficielle et moins étendue au côté externe de la partie inférieure de la cuisse gauche, et une cinquième sur la lèvre supérieure jusqu'au nez. Il a été fatigué d'une insomnie absolue pendant près de deux mois; il a eu les

bras paralysés, et souffre des différentes variations de l'atmosphère.

» Un jeune enfant fut enlevé des bras de sa mère et porté à six pas plus loin ; on ne le rappela à la vie qu'en lui faisant respirer le grand air. Tout le monde avait les jambes paralysées ; toutes les femmes, échevelées, offraient un spectacle horrible. L'église fut remplie d'une fumée noire et épaisse ; on ne pouvait distinguer les objets qu'à la faveur des flammes des parties de vêtemens allumées par la foudre.

» Huit personnes restèrent sur la place ; une fille de dix-neuf ans fut transportée sans connaissance à sa maison, et expira le lendemain matin, en proie aux douleurs les plus horribles, à en juger par ses hurlemens ; de sorte que le nombre des personnes mortes est de neuf, celui des blessés est de quatre-vingt-deux.

» Le prêtre célébrant ne fut point atteint de la foudre, sans doute parce qu'il avait un ornement en soie.

» Tous les chiens qui étaient dans l'église furent trouvés morts dans l'attitude qu'ils avaient auparavant.

» Quoiqu'on ne puisse pas suivre de l'œil la marche de l'électricité, on peut quelquefois en juger par les effets.

» Une femme, qui était dans une cabanne, à la montagne de Barbin, au couchant de Châteauneuf, vit tomber successivement trois masses de feu, qui semblaient devoir réduire ce village en cendres.

» Il paraît que la foudre frappa d'abord la croix du clocher, qu'on trouva plantée dans la fente d'un rocher, à une distance de 16 mètres. L'étincelle électrique pénétra ensuite dans l'église par une brèche qu'il fit à la voûte, à la distance d'un demi-mètre de celle par où passe la corde d'une cloche ; la chaire fut écrasée. On trouva dans l'église une excavation d'un demi-mètre de diamètre, prolongée sous les fondemens du mur jusque sous le pavé de la rue, et une autre qui rentrait sous les fondemens d'une écurie qui est en dessous, et où l'on trouva morts cinq moutons et une jument ».

Courans électriques. Toutes les fois que, par un moyen quelconque, on électrise résineusement un bout d'un fil métallique et vitreusement l'autre extrémité, l'électricité la plus forte se transmet, tant que dure l'action dont il s'agit, du point où elle a été excitée, à tout le fil, et en même temps l'action du corps électrisé résineusement ou *moins fortement*, placé à l'autre bout, empêche que l'équilibre s'établisse; de sorte que les dégrés d'électricité vont sans cesse en diminuant d'une extrémité à l'autre du fil métallique, le plus fort étant à peu près égal à celui du corps électrisé vitreusement, et le plus faible à celui du corps électrisé résineusement. Dans ces circonstances, on dit que le fil est le siége d'un *courant électrique* qui *part* du bout le plus électrisé et *va* au bout le moins électrisé. Les courans électriques produisent un grand nombre d'effets importans; avant de les indiquer, nous allons faire connaître les principaux moyens qu'on peut employer pour s'en procurer de plus ou moins énergiques.

Production des courans. Le moyen le plus simple consiste à mettre en communication avec une armure d'une batterie composée d'un grand nombre de bouteilles de Leyde un bout d'un fil métallique dont on approche l'autre extrémité terminée en pointe très-fine de la seconde armure de la bouteille, mais à une distance suffisamment grande pour que la décharge ne se fasse que lentement.

En général, pour constater que, dans une circonstance déterminée, un courant a été développé, on prend pour fil métallique, ou pour une partie de fil métallique, celui d'un instrument appelé *multiplicateur*. Cet instrument représenté *fig.* 182 se compose d'un fil de laiton exactement recouvert de soie; il fait un grand nombre de tours sur un rectangle en bois dans l'intérieur duquel sont suspendues deux petites aiguilles aimantées très-mobiles : les *extrémités* de ce fil sont nues; le reste est recouvert de soie pour empêcher la communication des

parties du fil qui composent les différens tours. Lorsqu'on veut en faire usage, il faut d'abord le placer de manière que les aiguilles qui sont assemblées fixement et tournées en sens contraires par rapport à leurs pôles, afin que les actions de la terre se neutralisent (voy. *magnétisme*), soient en équilibre dans le plan du rectangle : on reconnaît l'existence d'un courant à ce qu'il dérange les aiguilles de leur position, et tend à les diriger perpendiculairement au plan du rectangle. Le sens dans lequel va le courant est facile à reconnaître, d'après le sens dans lequel les aiguilles se meuvent. M. Ampère, auquel on doit un grand nombre de découvertes relatives à cette partie de la physique, a imaginé une expression très-commode de l'action d'un simple courant rectiligne ; il conçoit un petit homme placé dans le courant de telle sorte que le courant entre par ses pieds et sorte par sa tête, et ayant la figure tournée du côté de l'aiguille : l'expérience prouve, lorsqu'on connaît d'avance le sens du courant, et que l'aiguille est dans le voisinage d'un aimant placé de manière à contrebalancer l'action que la terre exerce sur elle (*voy.* plus loin direction de l'aiguille aimantée par l'action de la terre), qu'*elle tend toujours à se placer en croix avec lui, son pôle austral* (1) *à sa gauche.* D'après cela, on détermine facilement la position du petit homme en observant celles des aiguilles, et par suite le sens du courant. Il est facile de s'assurer par la position que l'homme doit prendre dans les diverses parties du courant, que leurs actions conspirent pour mouvoir les aiguilles dans le même sens : les différens tours agissant de la même manière, plus le nombre en est grand et plus la déviation est sensible. Toutefois, lorsque les courans sont énergiques, cet appareil n'est point nécessaire.

Dans l'expérience dont il s'agit ici, on met une extrémité

(1) On nomme pôle austral d'une aiguille aimantée celle de ses extrémités qui se dirige vers le nord, lorsqu'elle est librement suspendue.

du fil du multiplicateur en contact avec une armure de la batterie ; puis l'on approche, en la tenant avec un manche de verre, cette pointe, du crochet communiquant avec l'autre armure. Les aiguilles sont déviées plus ou moins suivant la grandeur de la batterie et dans le sens indiqué précédemment, sens qu'on peut d'ailleurs prévoir ici d'avance, puisqu'on sait comment la batterie a été électrisée.

On obtiendrait un résultat analogue en isolant les frottoirs d'une machine électrique, mettant une extrémité du multiplicateur ou galvanomètre en contact avec eux, et approchant l'autre extrémité terminée en pointe du conducteur de cette machine pendant qu'elle est en jeu.

Les actions chimiques sont aussi un moyen de produire des courans électriques : en plongeant dans un vase en partie rempli d'eau chargée d'acides nitrique et sulfurique une lame de cuivre et une lame de zinc, leurs surfaces sont attaquées par ces acides et entrent en dissolution. Pendant cette action, elles s'électrisent, mais la première moins que la seconde, parce que le liquide acide agit sur le zinc plus vivement que sur le cuivre, et conséquemment en échauffe plus la surface. On conçoit d'après cela qu'un courant allant du zinc au cuivre doit s'établir aussitôt qu'on fait communiquer par un fil métallique leurs parties extérieures au liquide : c'est en effet ce qui a lieu, car ce fil devient aussitôt capable d'agir sur l'aiguille aimantée. On obtient des résultats analogues en changeant les matières employées dans l'expérience, et toujours le courant va du corps le plus attaqué au corps le moins attaqué ; l'air peut même remplacer le liquide, lorsqu'il agit chimiquement sur les métaux employés.

Enfin la chaleur est encore capable de développer des courans dans certaines circonstances. Par exemple, lorsqu'on soude deux lames ou deux fils de métaux différens de manière à former un circuit fermé, et qu'on chauffe ensuite une des soudures, il se manifeste un courant provenant de ce que la chaleur se transmet facilement à toute la surface

du circuit métallique, mais plus facilement cependant sur l'un des métaux que sur l'autre, de sorte que celui-ci peut être considéré comme moins fortement électrisé.

Il n'est pas nécessaire que le circuit soit composé de deux métaux différens, un seul suffit; mais il faut que quelque différence, comme par exemple un renflement que le fil présentera d'un côté et non de l'autre, empêche que la chaleur se transmette également dans les deux sens.

Piles électro-chimiques. On peut accroître considérablement l'énergie des courans en employant pour les produire des appareils nommés *piles*, qui sont composés d'un nombre plus ou moins grand de plaques de deux corps différens en contact avec un liquide capable d'agir chimiquement sur eux, et disposées de manière que ces trois matières se succèdent alternativement. La forme des plaques peut varier beaucoup; mais on ne se sert guère maintenant que de trois espèces de piles que nous allons seules décrire: la pile à auge, la pile de Wollaston et la pile en hélice.

La première consiste en une caisse de bois rectangulaire dans laquelle sont disposées à peu de distance les unes des autres des plaques métalliques de zinc et de cuivre, qui laissent entr'elles de petits compartimens qu'on remplit d'eau mêlée d'environ $\frac{1}{16}$ d'acide sulfurique $\frac{1}{20}$ et d'acide nitrique (1). La pile commence par un compartiment, ensuite vient une plaque de zinc contre laquelle est appliquée une plaque de cuivre (2) à laquelle succède un compartiment, puis une seconde plaque de zinc, etc... ; elle se termine par une plaque de cuivre suivie d'un compartiment. Dans le

(1) Pour augmenter les effets, on peut prendre un liquide plus acide; mais, en général, celui-ci suffit.

(2) On appelle *couple* l'ensemble de deux plaques en contact. On pourrait prendre des métaux quelconques; mais le zinc et le cuivre ont l'avantage, employés ensemble, de donner beaucoup d'électricité, et leur prix est d'ailleurs assez modique.

premier et le dernier compartiment, on plonge deux plaques métalliques auxquelles sont soudés deux fils qui, quand on les réunit, sont traversés par un courant allant du zinc au cuivre, et d'autant plus énergique que le nombre des plaques qui composent la pile est plus considérable. Les deux extrémités de la pile se nomment ses pôles : quand ils sont en communication, le fil qui les sépare est échauffé à sa surface, et s'il est très-fin, il peut l'être dans toute son épaisseur avec une grande force ; le dégré d'électricité est alors très-faible. Lorsqu'au contraire ils sont isolés, ils acquièrent un dégré d'électricité plus grand. Il faut avoir soin, quand on remplit d'eau acidulée les augets, de ne pas mouiller les bords supérieurs des *couples ;* par là on diminuerait les effets de la pile.

La pile de Wollaston est représentée *fig.* 183 ; les plaques de zinc sont désignées par la lettre *z* et les plaques de cuivre par la lettre *c*. Elles sont soudées les unes aux autres hors des vases contenant l'eau acidulée, et qui remplacent les augets : les plaques de cuivre se recourbent de manière à envelopper celles de zinc. Les couples sont attachés à une barre de bois dont les extrémités glissent dans les rainures de deux montans, et qui peut être fixée à deux hauteurs différentes, de manière qu'on peut à volonté plonger les plaques dans le liquide ou les maintenir dehors. A la première et à la dernière plaque sont soudés deux fils qu'on nomme les pôles.

La pile en hélice est la même que la pile à Wollaston ; seulement les parties des plaques qui plongent dans le liquide sont beaucoup plus étendues, et sont enroulées sur un cylindre de bois. Des bouts de lizières de drap réunis par de petites ficelles empêchent que le zinc et le cuivre se touchent.

Il y a des effets qui exigent des piles dans lesquelles l'étendue des plaques métalliques soit très-considérable, sans qu'il soit besoin que le nombre des couples soit grand ; d'autres, au contraire, dépendent bien plus du nombre des couples que de leur étendue. Dans le premier cas, on

peut employer une pile en hélice, même un seul couple; dans le second, on se sert d'une pile à auge ou d'une pile de Wollaston. Celle-ci peut d'ailleurs être employée à peu près dans tous les cas, pourvu qu'elle ait une douzaine de couples au moins, et que chaque plaque ait une surface un peu grande.

Effets des courans. Les effets des courans sont physiologiques, physiques ou chimiques. Les effets physiologiques ne doivent pas trouver place ici; nous dirons seulement que, quand on touche avec ses mains, mouillées avec de l'eau acidulée, les deux pôles d'une pile en activité, on ressent d'abord une commotion analogue à celle que fait éprouver la décharge d'une bouteille de Leyde, et qui est suivie de petites commotions qui se succèdent ensuite rapidement tant que la pile reste en activité. Le nombre des couples et l'énergie de l'action chimique déterminent l'intensité de la commotion; beaucoup de piles n'en donnent pas de sensible.

Effets physiques des courans. Lorsqu'on fait passer un courant à travers un fil métallique assez fin et assez court, il peut être échauffé jusqu'au rouge et même jusqu'au blanc, se fondre, se volatiliser et brûler suivant sa nature. Ces effets peuvent paraître surprenans et incompatibles avec le principe démontré à la page 216, que l'électricité est une chaleur moins vive que la lumière; mais toute difficulté disparaît quand on considère que la température de la surface des corps électrisés varie considérablement avec la profondeur, et qu'elle peut être très-élevée dans une épaisseur excessivement mince, sans que pour cela le corps soit visible dans l'obscurité (1). Pour concevoir facilement la manière

(1) Pour qu'un corps puisse agir sur l'œil d'une manière sensible, il faut que l'épaisseur de la couche très-chaude ne soit pas excessivement petite.

dont ces effets se produisent, il faut partager par la pensée la couche où réside l'électricité en un grand nombre de couches plus minces, en 100 par exemple : la première sera la plus chaude, et la température ira en diminuant jusqu'à la dernière ; de sorte que celle-ci n'aura presque pas plus de chaleur que l'intérieur du corps, quoique la première couche puisse être à une température extrêmement élevée. Les suivantes, jusqu'à un certain nombre, peuvent être assez chaudes pour être lumineuses, sans que pour cela le corps soit visible ; il suffit qu'elles ne forment pas une épaisseur suffisante. Maintenant, un fil très-fin, à travers lequel on fait passer un courant, peut l'être assez pour que, depuis sa surface jusqu'à son centre, il n'y ait qu'une partie des 100 couches dont nous venons de parler, 15 par exemple ; et alors la 15e n'étant plus en contact d'un côté avec une couche plus froide, et étant au contraire environnée de toutes parts par des couches plus chaudes, s'échauffera de plus en plus. Elle refroidira moins la 14e et celle-ci la 13e ; de sorte qu'après un temps très-court, les premières couches auront échauffé les dernières à un point tel que le fil pourra briller d'une lumière plus ou moins vive.

Voici le détail des faits observés ; ils sont tout à fait analogues à ceux qui ont été rapportés à la page 291, et qui étaient dus aussi à des courans :

Avec une pile de Wollaston de douze couples, on peut, en quelques secondes, porter au blanc un fil de platine de 1 mètre de long et de 1 millimètre d'épaisseur ; il reste dans cet état tant que la pile est en activité.

Un fil plus mince ou moins long se fond et tombe en globules.

Le fer et l'acier sont liquéfiés plus aisément, et brûlent avec plus d'éclat.

Les feuilles d'or sont volatilisées. Si l'on en touche différens points, on établit des solutions de continuité dans lesquelles paraissent ensuite une foule de petites étincelles d'une couleur verte très-vive.

Les feuilles d'argent présentent à peu près les mêmes phénomènes.

Ces effets peuvent être produits au moyen d'un seul couple, pourvu qu'il ait une grande étendue, 50 à 100 pieds de surface.

Les différens métaux ne s'échauffent pas avec la même facilité quand on les soumet à l'action des courans; M. Children a constaté ce fait par des expériences curieuses. Il se servait d'une pile de Wollaston de 21 couples, dans laquelle le zinc avait 32 pieds de surface, et le fil métallique, à travers lequel il faisait passer le courant, était composé de deux autres de même longueur, d'égal diamètre et de différens métaux.

Le fil étant composé d'*or* et de *platine;* ce dernier métal s'échauffait jusqu'au blanc, l'or ne changeait pas.

D'*or* et d'*argent;* l'or devenait seul lumineux.

D'*or* et de *cuivre;* ces métaux devenaient tous deux lumineux.

De *platine* et de *fer;* le platine devenait blanc et le fer se liquéfiait.

De *platine* et de *zinc;* le platine devenait blanc, le zinc ne changeait pas.

De *fer* et de *zinc;* le fer se liquéfiait et non le zinc.

De *zinc* et d'*argent;* le zinc entrait en ignition et passait à l'état liquide, l'argent ne changeait pas.

En employant de l'eau plus chargée d'acide, M. Children obtint des effets d'une intensité extraordinaire :

Un fil de platine de 5 pieds 6 pouces de long sur $\frac{11}{100}$ de pouce d'épaisseur, s'échauffa jusqu'au blanc.

Une tige carrée de même métal de 2 lignes de côté et de 2 pouces 3 lignes de longueur, entra en fusion.

Plusieurs oxides terreux furent fondus et en partie réduits.

M. David a obtenu avec la pile de 2000 couples de l'institut royal de Londres des effets encore plus grands : il est parvenu à volatiliser du diamant et de la plombagine.

Lorsqu'on veut se borner à produire des effets ordinaires,

on peut se servir d'un seul couple de Wollaston et d'un fil métallique très-court.

Une des expériences les plus curieuses qui aient été faites sur la production de la lumière par les courans, peut être répétée au moyen de l'appareil de la *fig.* 136, en y remplaçant les boules qui terminent à l'intérieur les tiges de cuivre, par deux petits cônes de charbon fortement calciné (1). On les approche jusqu'à ce que leurs pointes se touchent; puis, après avoir fait le vide, on fait passer le courant par les tiges et les petits cônes de charbon qui doivent toucher les tiges qui les portent dans une grande étendue, pour que la transmission de l'électricité s'opère facilement. Si alors on éloigne de plus en plus les sommets des petits cônes jusqu'à une certaine distance, le courant passe à travers l'air raréfié, et produit un faisceau de lumière qui remplit tout l'appareil. Dès le commencement de l'expérience, les pointes des cônes deviennent d'un blanc éblouissant.

Enfin, un dernier phénomène de chaleur qui vient à l'appui des explications données à la page 320, a été découvert récemment. Il consiste en ce qu'un liquide qui ne s'échauffe pas sensiblement quand, placé dans un tube de verre recourbé en syphon, on le fait traverser par un courant, s'échauffe au contraire lorsque, au lieu d'un tube de verre, on emploie une mèche de coton (*voy.* ann. de phys. et de chim., tom. 40).

Outre la chaleur, les courans sont encore capables de produire dans les liquides des mouvemens dont nous allons parler succinctement, et de communiquer aux fils métalliques certaines propriétés que nous devons aussi faire connaître.

1°. Un vase en verre étant divisé en deux compartimens par une membrane de vessie, ou une feuille de papier enduite de blanc d'œuf coagulé par la chaleur, si l'on verse

(1) Dans cet état, le charbon est bon conducteur de l'électricité.

un liquide dans les deux compartimens de manière qu'il s'y élève au même niveau, et qu'ensuite on plonge dans l'un un fil métallique communiquant avec le pôle zinc d'une pile, et dans l'autre un fil métallique communiquant avec le pôle cuivre de la même pile; après quelque temps, on voit le niveau du liquide s'élever du côté où se trouve le fil le moins électrisé (celui qui communique avec le pôle cuivre) et s'abaisser de l'autre.

Pour concevoir la cause de ce phénomène, il faut remarquer que la vessie laisse au liquide un passage qui n'est pas très-facile, de sorte qu'une force est nécessaire pour que le liquide aille d'un compartiment dans l'autre, et que, une fois passé, il y reste, à moins que la différence de niveau ne soit assez grande pour que la pression du liquide devienne suffisante pour en faire repasser une partie dans le compartiment où le liquide s'élève moins. Cela posé, il suffit de découvrir la force qui exerce son action dans le phénomène dont il s'agit : soit *zc*, *fig.* 184, un filet de liquide, et *ab* la vessie; de *z* en *c*, l'électricité va sans cesse en diminuant; ainsi la partie *zd* est continuellement dilatée, de même que la partie *dc*; mais la première l'est plus fortement que celle-ci. La dilatation s'effectue principalement dans des directions perpendiculaires au filet; cependant, il est évident qu'elle tend aussi à avoir lieu suivant sa longueur : il y aura donc de part et d'autre effort pour passer à travers la vessie, et le plus grand effort étant fait par la partie *zc*, du liquide passera à chaque instant du côté *c*.

2.° Un syphon renversé contenant du mercure jusqu'à 3 ou 4 pouces dans chaque branche, ce liquide fait de légères oscillations lorsqu'on y fait passer le courant; et si l'on verse du côté qui communique avec le pôle cuivre une dissolution saline dans laquelle on plonge l'extrémité du fil qui part de ce pôle, elle se glisse peu à peu entre le verre et le mercure, et passe en totalité dans l'autre branche.

3°. De l'eau contenant $\frac{1}{2000}$ de sulfate de potasse étant dans un vase de verre de 10 pouces de diamètre, et quelques

globules de mercure étant déposés au fond du vase, on observe une vive agitation lorsqu'on fait plonger dans cette eau les fils d'une forte pile. Les globules de mercure s'allongent du côté du pôle cuivre, et l'on voit un rapide courant d'oxide qui s'établit du pôle zinc au pôle cuivre. En même temps du potassium s'amalgame au mercure; car, quand l'action de la pile cesse, des bulles d'hydrogène paraissent autour des globules, et l'on reconnaît par les réactifs qu'il se forme de la potasse (1).

4°. Quatre ou cinq cents grains de mercure très-pur étant recouverts dans un vase en verre ou en porcelaine d'une couche d'acide sulfurique de quelques lignes d'épaisseur, on plonge dans cet acide deux fils de platine qui forment les pôles d'une pile; et à l'instant, quand même la pile serait très-faible, le mercure éprouve une violente agitation. Le globule s'allonge surtout du côté du pôle cuivre, et sa surface paraît sillonnée d'une foule de courans; en même temps, l'acide est lui-même agité, et dans les points où il touche le mercure, il semble être violemment entraîné. Si l'un des fils est au-dessus du mercure, il semble qu'il en part un souffle qui détermine des ondulations circulaires, ou d'autres fois une attraction qui soulève un peu le liquide. Lorsque les deux fils forment un triangle avec le globule, celui-ci va en tournant sur lui-même joindre le fil négatif.

D'autres acides et des dissolutions salines donnent des effets analogues.

Les dissolutions alcalines concentrées empêchent ces mouvemens de se produire quand le mercure est très-pur ou mêlé d'or, d'argent, de cuivre; ils reparaissent quand le mercure est combiné avec du sodium, du zinc, du plomb, du fer, de l'étain.

5°. M. Dutrochet a découvert un fait qui a de l'analogie

(1) Ces effets tiennent en même temps à la physique par les mouvemens qu'ils présentent, et à la chimie par les circonstances qui les accompagnent.

avec celui de la page 323 1°, et qui paraît être d'une grande importance. Pour l'observer, on se sert d'un instrument nommé endosmomètre, et qui consiste en un tube terminé par un petit réservoir dont le fond est en vessie, ou fait avec du papier enduit de blanc d'œuf coagulé par la chaleur, ou bien encore avec une lame d'argile ou de certaines autres matières; un vase est en outre destiné à recevoir un liquide dans lequel on plonge le petit réservoir et une partie du tube, après les avoir aussi remplis d'un liquide.

M. Dutrochet a observé que, suivant la nature des liquides contenus dans le réservoir et le vase, il pouvait arriver que celui du vase passe dans le réservoir, et élève le niveau dans le tube quelquefois de plusieurs pieds, ou bien que le contraire arrive, ou encore qu'aucun effet ne se manifeste. Dans le premier cas, on dit qu'il y a *endosmose* du liquide contenu dans le vase au liquide contenu dans le petit réservoir; dans le second cas, il y a *exosmose*.

L'auteur de ces expériences a trouvé qu'il y a endosmose de l'eau à l'alcool, à l'eau gommée, à l'acide acétique, à l'acide nitrique, et surtout à l'acide hydrochlorique. Il y a, au contraire, exosmose de chacun de ces liquides à l'eau. Il n'y a pas endosmose d'un liquide au même liquide, ni de l'eau à l'acide sulfurique (1).

Action des courans sur les aimans. Il a déjà été question à la page 316 de l'action d'un courant électrique sur une aiguille aimantée. La force avec laquelle le courant agit sur l'aiguille se fait sentir à travers toutes les substances, excepté celles qui, comme le fer, sont susceptibles d'acquérir les propriétés des aimans. Elle diminue à mesure que la distance qui sépare le courant, de l'aiguille, augmente; et est à peu près en raison inverse de cette distance. Cependant

(1) Il serait curieux de rechercher s'il y a endosmose d'un liquide au même liquide plus chaud; nous avons quelques raisons pour le penser.

M. OErsted a remarqué que, quand le courant est placé à une très-petite distance de l'aiguile, le sens de la force se trouve quelquefois changé de manière que le pôle austral de l'aiguille se tourne à *droite*. Il a observé aussi qu'elle était alors quelquefois attirée ou repoussée, suivant sa position, quoiqu'elle ne soit ordinairement que dirigée.

L'action d'un courant sur un barreau aimanté peut encore, dans certaines circonstances, mettre celui-ci en mouvement de rotation continu. Ce phénomène surprenant a été indiqué par le docteur Wollaston ; mais c'est par M. Faraday que l'expérience a été faite la première fois. Dans une large éprouvette en verre *vv'* remplie de mercure (*fig.* 185), flotte un aimant cylindrique B, lesté par un contre-poids de platine P qui le maintient vertical et a un poids tel que l'aimant ne s'élève au-dessus de la surface du mercure que de quelques millimètres. Un conducteur *c'*, qui communique avec le pôle zinc, vient plonger dans le mercure très-près du bord de l'éprouvette, et une tige *t*, qui communique avec le pôle cuivre au moyen du conducteur C, vient plonger au contraire au centre de l'éprouvette ; une vis de pression permet de l'arrêter à diverses hauteurs.

Les choses étant dans cet état, on met la pile en activité, et le courant part de *c'*, passe sur la surface du mercure, monte par la tige *t*, et va au pôle cuivre par le conducteur C. L'aimant reçoit l'influence de deux portions du courant qu'il faut considérer séparément : la tige *t* tend à diriger l'aimant dans un plan horizontal, et à faire passer le pôle *a* à sa gauche et le pôle B à sa droite ; mais, de ces deux effets, le premier est pour ainsi dire le seul qui puisse avoir lieu, tant parce que le pôle B est éloigné de la tige *t*, que parce qu'il est plongé dans le mercure et assemblé avec la platine qui éprouve aussi de la part du mercure une grande résistance, et n'est aucunement soumis à l'action du courant. L'aimant doit donc prendre dans le premier instant une position oblique à cause d'un petit déplacement éprouvé par le pôle *a* qui est soumis à une

action plus énergique de la part de la portion du courant dont il s'agit, et auquel le mercure oppose moins de résistance, tant parce qu'une partie du barreau est dans cet endroit hors du liquide, que parce qu'elle n'est obligée de mouvoir aucun corps étranger. Mais, avant que cette obliquité soit devenue sensible, le platine force par son poids la partie inférieure du barreau à suivre le pôle *a*; puis, les mêmes effets se reproduisent, et le barreau s'avançant toujours dans le même sens, tourne autour de la tige *t* d'un mouvement continu. A la vérité, il tend bien un peu à s'en rapprocher; mais il est facile avec quelque soin de l'ajuster de manière qu'il se maintienne à distance. Quant à l'action du courant qui va sur la surface du mercure, du conducteur *c'* à la tige, il est évident qu'elle s'exerce sur le pôle *a*, pendant le demi-tour, dans le même sens que celle de la tige, et, pendant le demi-tour suivant, en sens contraire; elle n'est, à aucun instant, assez forte pour triompher de la vîtesse acquise par le barreau : elle ne nuit donc pas au mouvement, puisque ses effets aux différentes époques se détruisent.

Cette expérience ne peut être faite qu'avec une pile très-forte et un aimant puissant, et ayant peu de volume.

La direction des aimans n'est pas le seul résultat qu'on puisse obtenir au moyen des courans; on peut aussi augmenter leur magnétisme, ou même aimanter des morceaux d'acier qui ne l'étaient nullement. Ainsi, une aiguille s'aimante lorsqu'on la dispose auprès d'un courant; mais sa position n'est pas indifférente : elle s'aimante d'autant plus qu'elle s'éloigne davantage de la direction parallèle au courant, et qu'elle se rapproche plus d'être de la perpendiculaire au courant et la ligne qui joint son milieu et le point du courant le plus rapproché. Il n'est pas nécessaire que le courant agisse pendant long-temps; il est préférable qu'il soit énergique. Aussi aimante-t-on passablement des aiguilles à coudre, en les plaçant auprès d'un fil métallique à travers lequel on fait passer la décharge d'une batterie électrique composée

d'un grand nombre de bouteilles de Leyde. Le sens et la force de l'aimantation varient avec la distance qui sépare l'aiguille, du courant ; voici les résultats qu'a obtenus M. Savary, en disposant auprès d'un même fil et à des distances croissantes 27 aiguilles à coudre :

Numéros des aiguilless	Distance au fil.	Durée de 60 oscillations.	Sens de l'aimantation.
1	0,0mm	1′. 3″	O
2	1,1	2 . 29	E
3	2,0	sans augmentation.	
4	3,0	1 . 26	O
5	4,3	1 . 6	O
6	5,5	1 . 3	O
7	6,7	1 . 14	O
8	8,0	1 . 32	O
9	8,6	3 . 8	E
10	9,6	1 . 35	E
11	10,5	1 . 17	E
12	12,3	1 . 1	E
13	13,5	56	E
14	14,6	56	E
15	15,7	59	E
16	16,9	1 . 3	E
17	18,2	1 . 5	E
18	19,1	1 . 17	E
19	20,0	1 . 34	E
20	20,9	2 . 29	E
21	21,4	presque nulle.	
22	23,3	1 . 24	O
23	32,7	41	O
24	44,0	34	O
25	70,0	43	O
26	100,0	1 . 12	O
27	180,0	1 . 28	O

Le sens de l'aimantation est indiqué par un O, lorsque

le pôle austral se trouve à gauche du courant ; c'est le sens ordinaire quand la décharge est faible ou quand on emploie le courant de la pile. Un E indique une aimantation extraordinaire ou en sens contraire.

On obtient des effets beaucoup plus intenses en introduisant l'aiguille ou le barreau à aimanter dans un petit tube sur lequel on roule en hélice le fil qui conduit le courant. Les différens tours qu'on a soin de rapprocher beaucoup les uns des autres, agissent dans le même sens sur le morceau d'acier qui, étant disposé à peu près perpendiculairement à chacun d'eux, s'aimante alors fortement. Une pile puissante peut aimanter autant qu'il est possible des barreaux d'acier assez gros en très-peu de temps.

On distingue, toutefois, deux espèces d'hélices, l'hélice *dextrorsùm* qu'on obtient en enroulant le fil vers la droite, et l'hélice *sinistrorsùm* qu'on obtient en l'enroulant vers la gauche. Le tire-bouchon ordinaire et les vis sont des hélices dextrorsùm. Ces deux espèces d'hélices produisent des aimantâtions en sens contraires, ce qui est dû évidemment à ce que dans chaque tour le courant ne va pas dans le même sens dans l'une et dans l'autre.

Enfin, la limaille de fer est aussi soumise à une influence de la part des courans ; elle est attirée et se dispose autour du fil métallique en forme d'anneaux.

De l'action de la terre et des aimans sur les courans. Lorsque, au lieu de faire agir sur une aiguille mobile un courant électrique, on cherche au contraire quelle influence exerce sur un courant mobile un aimant ou la terre qui, comme nous le verrons plus loin, agit à la manière des aimans (1), on observe aussi des effets curieux dont nous allons maintenant nous occuper.

(1) Il sera nécessaire que les personnes qui n'auraient aucunes notions sur les aimans lisent le commencement du magnétisme avant d'étudier l'action de la terre et des aimans sur les courans ; nous ne l'avons traitée en cet endroit qu'afin de donner en même temps tout ce qui se rapportait aux courans produits par les piles.

Un courant rectangulaire mobile autour d'un axe vertical se dirige dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique, et de manière que la portion ascendante se trouve à l'ouest.

Pour vérifier ce fait, on se sert d'un fil de laiton *abcdefgh*, *fig.* 186, ayant la forme d'un rectangle, et dont les parties *ab* et *gh* sont séparées par un corps isolant, recourbées et terminées par des pointes. *i* et *l*, sont deux petites coupes dont les fonds sont faits avec un morceau de verre présentant un petit creux ; elles contiennent du mercure, et leurs parois latérales qui sont en cuivre communiquent, au moyen de conducteurs, avec les deux pôles d'une pile. Une des pointes porte sur le fond d'une coupe, et l'autre plonge seulement dans le mercure de l'autre coupe ; l'appareil peut tourner ainsi facilement sur la première, et le mercure environnant chaque pointe établit la communication entre les parois latérales des coupes et les pointes (1). Si la coupe *i* communique avec le pôle zinc de la pile, le courant va suivant *abcdefgh* ; dans le cas contraire, il va suivant *hgfedcba*.

On peut s'assurer de la même manière que des courans circulaires, triangulaires, etc., se disposent ainsi lorsqu'ils sont mobiles autour d'un axe vertical.

Quand le courant est libre de se mouvoir autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan du méridien magnétique, il s'incline à l'horizon, jusqu'à ce qu'il soit exactement dans le plan perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison. La *fig.* 187 représente le petit appareil qui sert pour cette expérience : le fil recourbé suivant *abcdefgh* est séparé de lui-même en *b* et en *c* par une petite bande de cuir ou de bois sec ; ses deux extrémités *ab* et *ch* sont portées par deux supports, de sorte que l'appareil peut tourner autour

(1) On emploie en général ce liquide métallique pour établir la communication entre deux fils ou lames non soudées, en les y plongeant par leurs extrémités.

de l'axe horizontal ah, qu'on dirige perpendiculairement au méridien magnétique : en a et en h, le fil présente des renflemens dont la partie supérieure touche sans cesse du mercure contenu dans deux petites coupes qui communiquent avec les deux pôles de la pile.

Lorsque, au lieu de disposer les courans comme précédemment, on les replie de manière à faire en sorte qu'ils présentent diverses parties sur lesquelles la terre exerce des actions égales et en sens contraires, on n'observe plus aucun mouvement. Les appareils représentés *fig.* 188 et 189, dans lesquels les flèches indiquent le sens du courant, sont dans ce cas ; ils sont très-utiles pour constater l'action des aimans sur les courans, parce qu'en les employant, aucune cause étrangère ne vient modifier les effets. On les rend mobiles, comme il a été dit plus haut, et on observe alors que le courant tourne et s'avance autant qu'il est possible, jusqu'à ce que son plan passe par la ligne moyenne de l'aimant, et soit perpendiculaire à son axe.

M. Delarive a imaginé un petit appareil très-facile à construire, et qui peut servir à constater en partie ces effets surprenans : on met flotter sur de l'eau acidulée un morceau de liège traversé par un ruban de zinc et un ruban de cuivre situés à peu de distance l'un de l'autre, et qui, se recourbant en rond, sont soudés ensemble en un point quelconque. L'acide attaquant les deux métaux augmente la vîtesse du mouvement des atomes qui composent leurs surfaces, et un courant traverse la circonférence métallique dans le sens indiqué par les flèches. La terre peut diriger ce petit courant circulaire perpendiculairement au méridien magnétique : un aimant agit aussi sur lui, s'il est assez près et suffisamment puissant ; il le dirige perpendiculairement à son axe, et l'attire jusqu'à ce que, l'aimant se trouvant engagé dans la circonférence, le plan de cette circonférence contienne sa ligne moyenne : toutefois, l'influence terrestre modifie un peu les résultats.

Jusqu'à présent, nous venons de voir la terre et les aimans

agir sur les courans, comme les courans agissent sur les aimans. Cette réciprocité se soutient encore quand il s'agit de mouvement de rotation continu. M. Ampère, auquel on doit cette découverte, a imaginé des appareils pour la mettre en évidence; le mouvement est d'autant plus rapide que le courant est plus énergique et l'aimant plus fort. Cependant, on peut le produire avec des courans assez faibles et même sans pile; comme l'appareil est alors beaucoup plus simple et plus facile à exécuter, nous lui donnerons la préférence. On le voit représenté dans la *fig.* 190; il consiste en un vase en zinc AB, du centre duquel part une tige *t* aussi en zinc, et qui, après s'être élevée un peu au-dessus du vase, se termine par une petite coupe en cuivre à laquelle elle est soudée. Un fil formant les trois côtés d'un rectangle *cdef*, et présentant une pointe au milieu de son côté supérieur, est supporté par cette coupe qui contient du mercure; un ruban de cuivre courbé en rond est soudé aux deux bouts de ce fil (voy. *fig.* 191), et se trouve assez bas pour être contenu dans le vase. Les choses étant dans cet état, si l'on verse de l'eau acidulée dans le vase de zinc, le courant monte par la tige et continue comme l'indiquent les flèches : dans ces circonstances, la terre lui imprime un mouvement de rotation continu de l'est à l'ouest, en passant par le midi. Il serait contraire, si l'on remplaçait le cuivre par du zinc et le zinc par du cuivre, parce qu'alors le sens du courant serait changé. Un aimant placé dans le voisinage peut modifier ces effets; il les augmente lorsque, étant placé au-dessous de l'appareil, son pôle boréal est en haut; si c'est son pôle austral; il les diminue, les fait cesser, ou même produit un mouvement en sens contraire, s'il est assez puissant. Placé au-dessus, son action est inverse. Son influence est d'autant plus grande que sa position se rapproche davantage de la verticale; elle est nulle quand il est horizontal. On conclut de là, par analogie, que l'influence terrestre sur ce courant doit être nulle à l'équateur magnétique, et *maximum* aux pôles magnétiques.

Plusieurs expériences curieuses ont aussi été faites sur l'action que les aimans exercent sur les courans qui passent dans le mercure ou dans le vide :

1°. Un large vase en verre contenant une assez grande quantité de mercure, on verse dessus une couche d'eau acidulée, et l'on plonge verticalement jusque dans le mercure les deux pôles d'une pile en deux points qui soient à peu près les milieux de deux rayons du vase. Le courant étant établi, on approche un pôle d'un puissant aimant, et bientôt on voit le mercure s'agiter, puis prendre un mouvement de rotation rapide autour de chaque fil. L'effet est encore plus remarquable quand on présente au-dessus et au-dessous du mercure, et en un point situé hors de l'espace compris entre les fils, deux pôles contraires de deux aimans puissans.

2°. Le courant passant dans le vide dont il a été question à la page 323, peut être agité et dirigé par le pôle d'un aimant puissant.

Ce second fait est important à connaître, à cause du rapport qu'il a avec le phénomène de l'aurore boréale.

3°. On perce de deux trous, à 3 pouces l'un de l'autre, le fond d'un large vase en verre, et l'on fait passer à travers deux gros fils enduits de cire, excepté à leurs extrémités qui s'élèvent perpendiculairement dans le vase d'un pouce environ. Ensuite on remplit le vase de mercure, jusqu'à ce que ce liquide dépasse les extrémités des fils de 1 à 2 lignes, et l'on met les fils en communication avec les pôles d'une pile puissante. Le mercure est alors fortement agité ; il s'élève au-dessus de chaque fil, en petites cônes d'où partent des ondes dans toutes les directions. Si, alors, on approche au-dessus d'un de ces cônes un pôle d'un aimant puissant, son sommet s'affaisse peu à peu, atteint le niveau général, et descend même au-dessous, presque jusqu'à l'extrémité du fil, en prenant la forme d'un entonnoir tourbillonnant.

On peut remplacer le mercure par l'étain en fusion.

Action des courans sur les courans. C'est à M. Ampère qu'on doit presque toutes les découvertes qui ont été faites relativement à l'action des courans sur les courans. On doit encore à cet homme illustre d'avoir ramené par le calcul les résultats observés à un principe unique dont on peut se servir pour prévoir de nouveaux effets : il a fait voir que tous étaient des conséquences de l'action que chaque élément d'un courant exerce sur un élément (1) d'un autre courant, eu égard à leurs positions respectives et à leurs intensités; enfin, cette donnée qu'on ne pouvait pas attendre immédiatement de l'expérience, il l'a fait sortir de plusieurs lois constatées par des procédés ingénieux. Nous ne donnerons pas ici cette théorie trop difficile pour les lecteurs auxquels notre ouvrage est destiné; nous ferons seulement connaître les résultats auxquels elle conduit, les faits qui ont servi à l'établir, et quelques-uns de ceux qu'on a employés pour la vérifier.

1°. Deux parties consécutives d'un courant se repoussent. On démontre ce fait au moyen du petit appareil représenté dans la *fig.* 192 ; il se compose d'un large vase en verre dans lequel on a pratiqué une cloison cc', au moyen d'une lame de verre fixée avec du mastic. On met du mercure dans les deux compartimens à la même hauteur, et on laisse flotter sur ce liquide le conducteur $absa'b'$, dont les parties situées, l'une du côté de la cloison, et l'autre de l'autre côté, sont recouvertes de soie, excepté à leurs extrémités qui touchent le mercure. On plonge ensuite les deux pôles d'une pile dans le mercure des deux compartimens, sur les prolongemens de ab et $a'b'$; et les parties a et a' étant repoussées par le courant qui passe sur le mercure suivant leur prolongement, le conducteur $absa'b'$ recule jusqu'à ce qu'il soit arrêté par les parois du vase.

(1) On appelle *élément* d'un courant une longueur excessivement petite de ce courant; on regarde les courans *courbes* comme composés d'un nombre excessivement grand d'élémens *droits*, ou comme des polygones dont les côtés très-petits sont en nombre très-considérable.

2°. Deux courans parallèles qui vont dans le même sens s'attirent ; ils se repoussent s'ils vont en sens contraire. Pour le démontrer, on place assez près d'un côté vertical d'un courant rectangulaire mobile (*voy.* pag. 332), le côté vertical d'un courant rectangulaire fixé sur une planche de bois sec et enduit de gomme-laque (*fig.* 193) ; puis on met une extrémité *z* de celui-ci en communication avec un pôle de la pile, et on plonge l'autre extrémité dans une petite coupe contenant du mercure, avec laquelle communique le conducteur *c* de la *fig.* 188 : l'autre pôle de la pile communique avec le second conducteur *c'* de la même figure. Les communications étant ainsi établies, si les courans verticaux qui sont auprès l'un de l'autre sont tous deux ascendans, on verra le courant mobile venir joindre l'autre ; il en sera de même lorsque, en changeant les pôles de la pile, on les rendra tous deux descendans. En changeant les positions des extrémités *z* et *c* du courant fixe l'une en l'autre, on aura un courant ascendant et l'autre descendant ; alors on observera une répulsion.

3°. Deux courans formant entr'eux un angle s'attirent s'ils vont tous deux en s'éloignant ou tous deux en se rapprochant du sommet de l'angle ; ils se repoussent quand ils vont l'un en s'éloignant et l'autre en s'éloignant du sommet de l'angle ; de sorte que, dans tous les cas, ils tendent à prendre des positions dans lesquelles ils soient parallèles et dirigés dans le même sens. On démontre cette vérité au moyen de l'appareil représenté *fig.* 194 : le côté supérieur et horizontal d'un courant rectangulaire fixe est placé à peu de distance au-dessous du côté inférieur d'un courant ayant la forme d'un double rectangle (1), et qui peut tourner autour d'une ligne verticale. On place le courant mobile de manière que son côté inférieur fasse un angle avec le côté

(1) Ce courant est ainsi construit, afin que la terre soit sans action sur lui ; en *a* et en *b*, de petites bandes de cuir empêchent le contact des deux branches du courant. (voy. *fig.* 189).

supérieur du courant fixe, on établit les communications, et, en changeant le sens des courans de toutes les manières, comme dans le cas précédent (*voy.* 2°), on observe les résultats dont il s'agit.

4°. M. Ampère a constaté différens faits desquels il a déduit l'expression suivante de l'action de deux élémens de courans :

$$i.i'.ds.ds'.\left(\frac{sin.t\times sin.t'\times cos.e-\frac{1}{2}cos.t\times cos.t'}{r^2}\right).$$

dans laquelle i et i' représentent les intensités relatives des deux courans ;

ds et ds', les longueurs des élémens que l'on considère ;

r, la distance de leurs milieux ;

e, l'angle formé par leurs directions ;

t et t', les angles de chaque élément avec la droite qui joint leurs milieux ; les angles sont toujours comptés à partir de la portion de l'élément la plus voisine des courans.

Voici comment M. Ampère s'exprime à ce sujet dans un ouvrage qu'il a publié en 1828 (*Théorie des phénomènes électro-dynamiques, uniquement déduite de l'expérience*).

« Les divers cas d'équilibre que j'ai constatés, dit M. Ampère, par des expériences précises, donnent immédiatement autant de lois qui conduisent directement à l'expression mathématique de la force, que deux élémens de conducteurs voltaïques exercent l'un sur l'autre, d'abord en faisant connaître la forme de cette expression, ensuite en déterminant les nombres constans, mais d'abord inconnus, qu'elle renferme, précisément comme les lois de Kepler démontrent d'abord que la force qui retient les planètes dans leurs orbites tend constamment au centre du soleil, puisqu'elle change pour une même planète en raison inverse du carré de sa distance à ce centre, enfin que le coefficient constant qui en représente l'intensité a la même valeur pour toutes les planètes. Ces cas d'équilibre sont au nombre de quatre :

» Le premier démontre l'égalité des valeurs absolues de l'attraction et de la répulsion qu'on produit en faisant passer alternativement en deux sens opposés le même courant dans un conducteur fixe dont on ne change ni la situation, ni la distance au corps sur lequel il agit.

» Le second consiste dans l'égalité des actions exercées sur un conducteur rectiligne mobile, par deux conducteurs fixes situés à égale distance du premier, et dont l'un est rectiligne, l'autre plié et contourné d'une manière quelconque, quelles que soient d'ailleurs les sinuosités que forme ce dernier.

» Le troisième consiste en ce qu'un circuit fermé de forme quelconque ne saurait mettre en mouvement une portion quelconque d'un fil conducteur formant un arc de cercle dont le centre est dans un axe fixe, autour duquel il peut tourner librement, et qui est perpendiculaire au plan du cercle dont cet axe fait partie.

» Le quatrième a pour but de prouver que trois courans circulaires étant dans le même plan, leurs centres $o, o' o''$ sur la même droite, leurs rayons formant une progression géométrique continue, le courant du milieu restera immobile quand les distances oo' et $o' o''$ seront entr'elles dans le même rapport que les termes consécutifs de cette proportion ».

Le premier cas se démontre au moyen du fil de la *fig.* 195, dont on se sert comme du rectangle dont il a été question page 336, pour chercher à agir sur un courant mobile; l'expérience fait voir que son action est nulle. De la soie sépare les deux branches de ce fil de manière à empêcher la communication entre le courant ascendant et le courant descendant.

Le second cas se démontre de même au moyen du fil de la *fig.* 196. Des fils ainsi recourbés sont également sans action sur les aimans.

Le troisième cas se démontre au moyen de l'appareil

représenté dans la *fig.* 197. Voici l'expérience telle que la décrit M. Ampère dans l'ouvrage cité plus haut :

« Sur un pied en bois s'élèvent deux colonnes EF, E′F′, liées entr'elles par deux traverses LL, EF′ ; un axe GH est maintenu entre ces deux traverses dans une position verticale. Ses deux extrémités G, H, terminées en pointes aiguës, entrent dans deux trous coniques pratiqués l'un dans la traverse inférieure LL′, l'autre à l'extrémité d'une vis KZ portée par la traverse supérieure FF′, et destinée à presser l'axe GH sans le forcer. En C est fixé invariablement à cet axe un support QO, dont l'extrémité O présente une charnière dans laquelle est engagé par son milieu un arc de cercle AA′ formé d'un fil métallique qui reste constamment dans une position horizontale, et qui a pour rayon la distance du point O à l'axe GH. Cet arc est équilibré par un contre-poids Q, afin de diminuer le frottement de l'axe GH dans les trous coniques où ses extrémités sont reçues.

» Au-dessous de l'arc AA′ sont disposés deux augets M, M′ pleins de mercure, de telle sorte que la surface du mercure, s'élevant au-dessus des bords, vienne toucher l'arc AA′ en B et B′. Ces deux augets communiquent par des conducteurs métalliques, MN, M′N′, avec des coupes P, P′ pleines de mercure. La coupe P et le conducteur MN qui la réunit à l'auget M sont fixés à un axe vertical qui s'enfonce dans la table de manière à pouvoir tourner librement. La coupe P′, à laquelle est attaché le conducteur M′N′, est traversée par le même axe, autour duquel elle peut tourner aussi indépendamment de l'autre. Elle en est isolée par un tube de verre V qui enveloppe cet axe, et par une rondelle de verre U qui la sépare du conducteur de l'auget M, de manière qu'on peut disposer les conducteurs MN, M′N′ sous l'angle qu'on veut.

» Deux autres conducteurs IR, I′R′ attachés à la table plongent respectivement dans les coupes P, P′, et les font communiquer avec des cavités R, R′ creusées dans la table et remplies de mercure. Enfin, une troisième cavité

pleine également de mercure se trouve entre les deux autres.

» Voici la manière de faire usage de cet appareil : on fait plonger l'un des rhéophores, par exemple, le rhéophore positif dans la cavité R, et le rhéophore négatif dans la cavité S, qu'on met en communication avec la cavité R′ par un conducteur curviligne d'une forme quelconque. Le courant suit le conducteur RI, passe dans la coupe P, de là dans le conducteur NM, dans l'auget M, le conducteur M′N′, la coupe P′, le conducteur I′R′, et enfin de la cavité R′ dans le conducteur curviligne qui communique avec le mercure de la cavité S où plonge le rhéophore négatif.

» D'après cette disposition, le circuit voltaïque total est formé :

» 1°. De l'arc BB′ et des conducteurs MN, M′N′;

» 2°. D'un circuit qui se compose des parties RIP, P′I′R′ de l'appareil, du conducteur curviligne allant de R′ en S et de la pile elle-même.

» Ce dernier circuit doit agir comme un circuit fermé, puisqu'il n'est interrompu que par l'épaisseur du verre qui isole les deux coupes P, P′ : il suffira donc d'observer son action sur l'arc BB′ pour constater par l'expérience l'action d'un circuit fermé sur un arc dans les différentes positions qu'on peut donner à l'un et à l'autre.

» Lorsqu'au moyen de la charnière O on met l'arc AA′ dans une position telle que son centre soit hors de l'axe GH, cet arc prend un mouvement et glisse sur le mercure des augets M, M′, en vertu de l'action du courant curviligne fermé qui va de R′ en S. Si au contraire son centre est dans l'axe, il reste immobile; d'où il suit que les deux portions du circuit fermé, qui tendent à le faire tourner en sens contraire autour de l'axe, exercent sur cet arc des momens de rotation dont la valeur absolue est la même, et cela, quelle que soit la grandeur de la partie BB′ déterminée par l'ouverture de l'angle des conducteurs MN,

M′ N′. Si donc on prend successivement deux arcs BB′ qui diffèrent peu l'un de l'autre, comme le moment de rotation est nul pour chacun d'eux, il sera nul pour leur petite différence, et par conséquent pour tout élément de circonférence dont le centre est dans l'axe ; d'où il suit que la direction de l'action exercée par le circuit fermé sur l'élément passe par l'axe, et qu'elle est nécessairement perpendiculaire à l'élément.

» Lorsque l'arc AA′ est situé de manière que son centre soit dans l'axe, les portions de conducteur MN, M′ N′ exercent sur l'arc BB′ des actions répulsives égales et opposées, en sorte qu'il ne peut en résulter aucun effet ; et puisqu'il n'y a pas de mouvement, on est sûr qu'il n'y a pas de moment de rotation produit par le circuit fermé.

» Lorsque l'arc AA′ se meut dans l'autre situation où nous l'avions d'abord supposé, les actions des conducteurs MN et M′ N′ ne sont plus égales : on pourrait croire que le mouvement n'est dû qu'à cette différence ; mais suivant qu'on approche ou qu'on éloigne le circuit curviligne qui va de R′ en S, le mouvement est augmenté ou diminué, ce qui ne permet pas de douter que le circuit fermé ne soit pour beaucoup dans l'effet observé.

» Ce résultat ayant lieu quelle que soit la longueur de l'arc AA′, aura nécessairement lieu pour chacun des élémens dont cet arc est composé. Nous tirerons de là cette conséquence générale, que l'action d'un circuit fermé, ou d'un ensemble de circuits fermés quelconques, sur un élément infiniment petit d'un courant électrique, est perpendiculaire à cet élément.

» Le quatrième cas se démontre au moyen de l'appareil représenté dans la *fig.* 198. Voici encore la description de l'expérience telle que la donne M. Ampère :

» Sur une tablette en bois est creusée une cavité A, remplie de mercure, d'où part un conducteur fixe ABC DEFG formé d'une lame de cuivre ; la portion CDE est circulaire, et les parties CBA, EFG sont isolées l'une de

l'autre par la soie qui les recouvre. En G ce conducteur est soudé à un tube de cuivre GH, surmonté d'une coupe I, qui communique avec le tube par le support HI du même métal. De la coupe I part un conducteur mobile IKLM NPQRS, dont la portion MNP est circulaire; il est entouré de soie dans les parties MLK et PQR pour qu'elles soient isolées, et il est tenu horizontal au moyen d'un contre-poids *a* fixé sur une circonférence de cercle qu'un prolongement *beg* de la lame dont est composé le conducteur mobile forme autour du tube GH. La coupe S est soutenue par une tige ST, ayant le même axe que GH, dont elle est isolée par une substance résineuse que l'on coule dans le tube. Le pied de la tige ST est soudé au conducteur fixe TUVXYZA′, qui sort du tube GH par une ouverture assez grande pour que la résine l'en isole aussi complètement dans cet endroit qu'elle le fait dans le reste du tube GH, à l'égard de ST. Ce conducteur, à sa sortie du tube, est revêtu de soie pour empêcher la portion TUV de communiquer avec YZA′. Quant à la portion VXY, elle est circulaire, et l'extrémité A″ plonge dans une seconde cavité A′ creusée dans la table et pleine de mercure.

» Les centres O, O′, O″ des trois portions circulaires sont en ligne droite; les rayons des cercles qu'elles forment sont en proportion géométrique continue, et l'on place d'abord le conducteur mobile de manière que les distances OO′, O′O″ sont dans le même rapport que les termes consécutifs de cette proportion; de sorte que les cercles O et O′ forment un système semblable à celui des cercles O′ et O″. On plonge alors le rhéophore positif en A et le rhéophore négatif en A′, le courant parcourt successivement les trois cercles dont les centres sont en O, O′, O″, qui se repoussent deux à deux, parce que le courant va en sens opposé dans les parties voisines ».

C'est avec ces données que M. Ampère est arrivé à la formule de la page 337; il s'en est servi ensuite, comme

nous l'avons dit plus haut, pour rendre compte de tous les effets connus et en prévoir d'autres. C'est ainsi qu'on en déduit, en y faisant $e=o$, $i'=o$, que l'action de deux élémens consécutifs d'un même courant égale :

$$\frac{i.i'.ds.ds'}{r^2}\left(-\frac{1}{2}\right)$$

et est une répulsion, puisque son expression est affectée d'un signe négatif : or, c'est ce qui a été démontré par l'expérience 1°.

5°. Les courans peuvent être disposés de manière à produire un mouvement de rotation continu; la *fig.* 199 représente un appareil qu'on peut employer dans ce but : il se compose d'un vase annulaire dans lequel on met de l'eau acidulée. Dans la douille qui se trouve au milieu de ce vase passe une tige xy qui se termine par une petite coupe s contenant du mercure; la pointe du conducteur de la figure est posée sur le fond de cette coupe, et la lame circulaire qui le termine à sa partie inférieure plonge dans l'eau acidulée. On environne le vase d'une lame revêtue de soie, faisant plusieurs tours, et dont les deux bouts plongent dans deux petits vases contenant du mercure. Une petite lame métallique soudée au fond du vase peut aussi être plongée dans l'un quelconque de ces deux vases; l'autre reçoit un des fils de la pile dont le second pôle communique avec la tige xy. Ces dispositions permettent de faire aller chaque courant dans le sens que l'on veut.

La pile étant en activité, le courant mobile prend bientôt un mouvement de rotation continu dont le sens est tel que les parties verticales du courant s'avancent toujours du côté où le courant circulaire fixe va comme elles, *en s'éloignant ou en se rapprochant* du sommet des angles que forment ces fils verticaux avec la circonférence.

La terre exerce aussi dans ces circonstances une influence capable de produire un mouvement de rotation (*voy.* page 338); mais pour peu que la pile soit forte, cette action ne fait que diminuer un peu ou augmenter la vîtesse du

mouvement, suivant qu'elle s'exerce dans le même sens que celle du courant circulaire ou en sens contraire.

M. Savary a obtenu un effet du même genre sans employer de courant fixe; en remplaçant seulement l'appareil mobile de la *fig.* 199 par un de ceux qu'on voit *figures* 200 et 201, dans lesquelles AA′ représente un petit morceau d'un corps isolant (d'ivoire, par exemple), destiné à interrompre le cercle métallique. On met alors le fond du vase directement en communication avec un des pôles de la pile, et le courant mobile prend un mouvement de rotation continu. Ce mouvement n'est pas dû à l'action de la terre qui ne fait, comme dans le cas précédent, que modifier sa vîtesse; ce qui le prouve, c'est qu'il se fait dans le même sens, que les parties verticales du courant soient ascendantes ou descendantes. Le sens du mouvement change lorsqu'au lieu d'un des appareils des *figures* 200 et 201, on prend l'autre.

On peut remplacer les courans mobiles dont nous venons de parler par les hélices dextrorsùm et sinistrorsùm des *fig.* 202 et 203.

Dans tous les cas, pour obtenir ces effets, il y a des conditions à remplir relativement à la force de la pile et à la conducibilité de l'eau acidulée que contient le vase; car, dans certains cas, il peut arriver que l'influence terrestre l'emporte, et alors le sens du mouvement dépend du sens des courans verticaux (*voy.* page 333).

Solénoïdes. M. Ampère a donné le nom de solénoïde à une hélice à pas très-serrés, formée avec un fil métallique recouvert de soie, et disposé de manière qu'on peut le faire traverser par un courant. Les solénoïdes mobiles (voy. *fig* 204) se dirigent, comme l'aiguille aimantée, sous l'influence de la terre; chacun des courans circulaires qui les composent tendant à se diriger perpendiculairement au méridien magnétique, leur longueur se trouve dans ce plan. Ils peuvent aussi être dirigés par les aimans et par les courans,

être attirés ou repoussés par les aimans ou par d'autres solénoïdes, suivant celles de leurs extrémités que l'on présente les unes aux autres. Les phénomènes qu'ils peuvent produire ont donc une ressemblance presque parfaite avec ceux du magnétisme.

Effets chimiques des courans. Le premier effet chimique des courans qui fut observé est la décomposition de l'eau ; Carlisle et Nicholson sont les deux auteurs de cette découverte. Pour faire l'expérience, on perce la partie inférieure d'un verre à pied, de deux trous à travers lesquels on fait passer deux fils de platine qui communiquent avec les deux pôles d'une pile. Ces deux fils s'élèvent verticalement dans le verre à peu de distance l'un de l'autre, et sont couverts chacun d'un petit tube fermé par un bout et plein d'eau, ainsi qu'une partie du verre. La pile étant en activité, ce liquide se trouve décomposé en oxigène et hydrogène qui se rendent, le premier, dans la partie supérieure du tube où se trouve le pôle zinc, et le second, dans la partie supérieure du tube qui contient le pôle cuivre. Si les tubes sont gradués, on peut constater ainsi que l'eau est formée de deux fois autant d'hydrogène *en volume* que d'oxigène.

L'eau parfaitement pure ne se décompose que lentement ; l'opération se fait bien plus rapidement quand on y mêle une petite quantité d'une matière capable d'augmenter sa conducibilité, comme un acide ou un sel.

On peut rendre l'expérience plus surprenante en faisant arriver les deux pôles de la pile dans deux vases séparés, remplissant en partie ces deux vases d'eau légèrement saline, et les faisant communiquer par un corps humide ; par exemple, au moyen d'amianthe imbibée d'eau. La décomposition s'opère comme précédemment, et on ne reçoit encore que de l'oxigène dans le tube qui recouvre le pôle zinc, et que de l'hydrogène dans celui qui recouvre le pôle cuivre.

L'eau n'est pas la seule substance qui se laisse décomposer

par les courans électriques ; en cherchant à les faire agir sur tous les composés connus, on a reconnu qu'ils sont un des plus puissans moyens d'analyse que les chimistes puissent employer.

Les oxides sont réduits, leur oxigène se rend au pôle cuivre et le métal va au pôle zinc. Seulement on est obligé, lorsque la décomposition est difficile à produire et que l'oxide est en poudre, de l'humecter un peu. On place l'oxide sur une plaque de platine communiquant avec un pôle de la pile, et on le met, d'autre part, en contact avec un fil de platine qui communique avec l'autre pôle. Le platine a l'avantage de ne point s'oxider dans ces expériences ; de sorte que les produits obtenus n'entrent point dans de nouvelles combinaisons : on pourrait ici le remplacer par l'argent ; mais, dans les décompositions de sels, ce dernier métal serait attaqué par les acides.

Pour décomposer les oxides, tels que la soude et la potasse, dont les métaux ont une grande affinité pour l'oxigène, on peut encore employer le même moyen ; mais il faut des précautions pour empêcher que le métal, à mesure qu'il est réduit, ne s'oxide pas de nouveau par son contact avec l'air ou l'eau. Pour éviter cet inconvénient, on place sur la plaque de platine un morceau de potasse ou de soude dans lequel on a pratiqué une cavité ; et, après avoir rempli cette cavité de mercure, on y plonge le pôle cuivre ; le pôle zinc doit communiquer avec la plaque. Dans ces circonstances, le potassium ou le sodium se rendant au pôle cuivre s'unissent au mercure, et on obtient un amalgame dont on sépare ensuite le mercure par distillation (*voyez* le traité de chimie de M. Thenard).

Les acides se décomposent comme les oxides : leur oxigène se rend encore au pôle zinc et le radical au pôle cuivre.

Les sels sont aussi tous décomposés, et présentent des phènomènes qui dépendent de leur nature :

1°. Si l'acide et l'oxide sont difficilement décomposables,

ils sont simplement séparés ; l'acide se rend au pôle zinc et l'oxide au pôle cuivre.

2°. Si l'acide est facile à décomposer, son oxigène seul va au pôle zinc, et son radical se rend avec l'oxide au pôle cuivre.

3°. Si l'oxide est seul facilement décomposable, son oxigène se rend avec l'acide au pôle zinc, tandis que son métal pur va au pôle cuivre.

4°. Si l'acide et l'oxide sont tous deux faciles à décomposer, l'oxigène va au pôle zinc ; le métal de l'oxide et le radical de l'acide se rendent au pôle cuivre.

On peut produire ces phénomènes avec des sels légèrement humectés, ou avec des dissolutions plus ou moins étendues ; l'eau est en même temps décomposée et en quantité d'autant plus grande que la dissolution est plus étendue. La facilité avec laquelle l'acide et l'oxide se décomposent doit d'ailleurs être appréciée, eu égard à la force du courant qu'on peut, au reste, affaiblir en éloignant les pôles l'un de l'autre, pour obliger le courant à traverser dans une plus grande étendue la dissolution saline dont la conducibilité est beaucoup moindre que celle des fils métalliques.

Les couleurs végétales qui changent de couleur par l'action des acides et des oxides sont très-propres à mettre des faits en évidence. Si l'on met, par exemple, une dissolution de teinture de choux rouge dans un tube recourbé en V, et qu'on plonge dans une branche le pôle zinc et dans l'autre le pôle cuivre, on voit bientôt le liquide qui se trouve dans la première prendre une couleur rouge par l'action de l'acide provenant de la décomposition d'une petite portion du sel contenu dans la teinture ; l'oxide de ce sel se rendant au pôle cuivre, fait passer au vert la teinture contenue dans la seconde branche.

Sir H. Davy a encore observé plusieurs faits remarquables qu'il avait cherché à produire dans l'intention d'étudier le phénomène extraordinaire du transport ; nous allons citer deux de ces expériences :

1°. Une dissolution saline étant contenue dans un vase, on la fait communiquer, au moyen d'amiante imbibé d'eau, avec deux vases contenant de l'eau pure; puis on plonge dans ces deux vases, les deux pôles de la pile. La décomposition du sel s'opère, l'acide se rend dans le vase où plonge le pôle zinc, et l'oxide dans le vase où plonge le pôle cuivre; c'est ce qu'on peut reconnaître après l'expérience, en versant dans ces deux vases une teinture végétale propre à cet usage.

Si l'acide ou l'oxide étaient décomposés, leurs élémens seraient encore transportés, comme il a été dit plus haut, aux deux pôles, malgré le long trajet qu'ils seraient obligés de faire.

2°. Trois vases étant disposés comme dans l'expérience précédente, et contenant, le premier, de l'eau pure; le second, une teinture végétale; le troisième, une dissolution saline: la décomposition s'opère, l'acide ou l'oxide se rend dans le premier vase, suivant qu'on y a plongé le pôle zinc ou le pôle cuivre; et, ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces substances, en traversant le liquide du milieu, n'altèrent aucunement la couleur de la teinture qui s'y trouve en dissolution.

Si on remplace la teinture par un acide très-puissant et concentré, il y a des oxides qui ne peuvent le traverser pour se rendre dans le premier vase où se trouve l'eau; ils restent combinés avec l'acide.

Si on la remplace par une dissolution alcaline très-puissante et très-concentrée, il y a des acides qui ne peuvent point la traverser et qui restent combinés avec elle, au lieu de se rendre dans le premier vase.

Cependant, il est très-probable qu'un courant plus énergique opèrerait le transport même dans ces deux derniers cas.

La pile n'est pas toujours nécessaire pour obtenir des courans capables de produire des actions chimiques; deux fils ou deux lames métalliques en contact, et plongées dans

un liquide qui attaque plus l'un que l'autre, produisent souvent un courant d'une force suffisante. C'est ainsi qu'un fil de zinc étant plongé dans de l'eau légèrement chargée d'acide sulfurique, se dissout bien plus vîte quand on met un fil de platine en contact avec celle de ses extrémités qui se trouve hors du liquide, et qu'on plonge aussi ce nouveau métal dans le liquide : l'eau est alors décomposée par le courant qui va du zinc au platine, l'oxigène se porte sur le zinc, s'unit à lui, et l'oxide qui en résulte se combine ensuite avec l'acide sulfurique. Outre cette nouvelle action, le zinc agit encore immédiatement sur l'eau acidulée, et on conçoit que l'eau étant décomposée par deux causes à la fois, les effets doivent être plus prompts. Le platine pourrait être remplacé par du cuivre et par un grand nombre d'autres métaux.

Il arrive aussi quelquefois que le courant agit en sens contraire de l'affinité chimique que l'un des deux métaux exerce sur le liquide. Supposons, par exemple, que les deux métaux soient susceptibles de décomposer l'eau sous l'influence de l'acide, de se combiner avec son oxigène et de dégager son hydrogène : lorsqu'on les plonge dans le même vase et qu'on les met en contact par leurs parties extérieures, ou seulement qu'on les fait communiquer par un bon conducteur quelconque, il s'établit un courant allant du métal le plus attaqué au métal le moins attaqué; ce courant décompose l'eau, transporte son oxigène sur le métal le plus attaqué qui s'oxide; tandis que l'autre métal, étant en contact avec de l'hydrogène à l'état naissant pendant toute la durée du courant, conserve son éclat métallique.

Sir H. Davy, qui est l'auteur de cette découverte, en a fait une application importante : l'eau de mer corrode le cuivre qui double les vaisseaux; elle l'oxide, et il se combine ensuite avec différens acides. Pour prévenir un aussi grave inconvénient, on applique des plaques de fer ou de fonte sur ce cuivre dans une certaine étendue (le zinc

pourrait remplir le même but) ; il s'établit un courant électrique qui va du fer au cuivre, le fer s'oxide assez rapidement, mais on le remplace facilement quand cela est nécessaire. Le cuivre se trouve en contact avec de l'hydrogène qui ne peut l'altérer. Toutefois, pour que les plaques de fer ou de fonte protègent efficacement le cuivre contre l'action de l'eau de mer, il est nécessaire qu'elles aient une surface suffisante ; il ne faut pas non plus qu'elles soient trop étendues, car alors les sels contenus dans l'eau de mer seraient décomposés par le courant qui deviendrait trop énergique, et il se déposerait sur le cuivre des matières terreuses qui ralentiraient la marche du navire, à cause des plantes et des coquillages nombreux qui viendraient s'y attacher.

L'expérience a fait voir que les proportions sont convenables, quand la surface du fer est $\frac{1}{250}$ de celle du cuivre.

Dans ces expériences faites en petit, on a observé un fait assez remarquable : il consiste en ce que si, après avoir mis pendant long-temps, 40 à 50 jours par exemple, dans un vase contenant de l'eau de mer, du cuivre en contact avec du fer ou du zinc, afin d'empêcher la corrosion du premier de ces métaux, on enlève le zinc, l'eau de mer continue pendant environ 20 jours à être sans action sur le cuivre, quoiqu'elle puisse l'oxider en un jour dans des circonstances ordinaires. Il paraît que l'état du métal et celui du liquide sont les causes de ce phénomène ; car si on change soit l'eau de mer, soit le cuivre, l'action chimique s'exerce comme à l'ordinaire.

Ce fait a beaucoup de rapport avec un autre observé par M. Delarive et les piles secondaires de Ritter.

M. Delarive a constaté que, si l'on fait plonger pendant quelques minutes, dans un vase contenant un liquide conducteur, deux fils de platine communiquant avec les pôles d'une pile, on peut ensuite les enlever, les laver, les couper et leur faire subir diverses actions mécaniques,

sans leur faire perdre la propriété singulière qu'ils ont alors de déterminer un courant et de dévier l'aiguille aimantée quand, les ayant adaptés aux deux extrémités du multiplicateur, on les fait communiquer en les plongeant tous deux dans un liquide conducteur. Il ne se produit pas de courant quand on met les fils de platine en communication sans l'intermédiaire d'un liquide.

Ritter a eu l'idée de construire des piles composées de rondelles d'un seul métal, séparées par des rondelles humides de drap ou de carton. Il mettait les deux extrémités de ces piles en communication avec les deux pôles d'une pile ordinaire assez puissante, et après quelque temps il supprimait ces communications. La pile composée d'un seul métal se trouvait alors capable de produire pendant un assez long-temps tous les phénomènes des piles ordinaires : c'est pour cela qu'on les a nommées *piles secondaires*. M. Marianini a observé qu'on pouvait intervertir l'ordre des disques et les retourner sans leur faire perdre leur activité.

Des poissons électriques. Il existe plusieurs espèces de poissons qui jouissent de la propriété singulière de produire volontairement des courans capables de faire éprouver de fortes commotions. Walsh a fait sur la torpille des expériences desquelles il résulte que, quand elle est en l'air, on reçoit une commotion en touchant directement ou avec un *bon conducteur* un point quelconque de sa peau.

Si plusieurs se tenant par la main, la première touche seule l'animal, la commotion se fait sentir à la seconde et à la troisième personne, mais en diminuant d'intensité. Elle peut se faire sentir à vingt personnes, si la première touche la torpille sous le ventre, tandis que la dernière la touche sur le dos.

Dans l'eau les effets sont moins intenses, mais ils peuvent être produits à distance. Walsh a observé que la torpille peut étourdir par une commotion de petits poissons sans les toucher.

Il arrive quelquefois qu'on touche la torpille sans rien ressentir ; pour être sûr de recevoir de fortes commotions, il suffit de lui pincer les nageoires ou de l'irriter d'une manière quelconque. Les courans qu'elle produit peuvent, comme ceux qu'on obtient par tout autre moyen, agir sur l'aiguille aimantée, et lui faire éprouver une déviation plus ou moins grande : c'est ce que M. de Blainville a constaté en enfonçant dans l'organe électrique deux aiguilles communiquant avec les deux extrémités d'un multiplicateur.

Le *Gymnote* ou l'*anguille de Surinam*, est le plus grand des poissons électriques connus. Il produit les mêmes phénomènes que la torpille ; mais de plus, il peut donner la commotion même lorsqu'on le touche avec un conducteur où se trouvent de légères solutions de continuité ; et alors, dans l'endroit où une petite lame d'air sépare deux parties consécutives du conducteur, on aperçoit une petite étincelle électrique. C'est encore à Walsh qu'on doit cette observation.

M. de Humboldt a fait aussi avec M. Bonpland des observations très-curieuses sur le gymnote. Voici comment il s'exprime en parlant de la pêche de ce singulier poisson :

« Nous partîmes le 19 mars, de grand matin, pour le petit village de *Rastro de Abaxo* : de là, les Indiens nous conduisirent à un ruisseau qui, dans le temps des sécheresses, forme un bassin d'eau bourbeuse entouré de beaux arbres, de clusia, d'amyris et de mimoses à fleurs odoriférantes. La pêche des gymnotes avec des filets est très-difficile, à cause de l'extrême agilité de ces poissons qui s'enfoncent dans la vase comme des serpens. On ne voulut point employer le *barbasco*, c'est-à-dire les racines du *piscidia erithyrna*, du *jacquinia armillaris* et de quelques espèces de *phyllanthus* qui, jetées dans une mare, enivrent ou engourdissent les animaux : ce moyen aurait affaibli les gymnotes. Les Indiens nous disaient qu'ils allaient *pêcher avec des chevaux*. Nous eûmes de la peine à nous faire une idée de cette pêche extraordinaire ; mais bientôt nous vîmes

nos guides revenir de la savane, où ils avaient fait une battue de chevaux et de mulets non domptés. Ils en amenèrent une trentaine qu'on força d'entrer dans la marre.

» Le bruit extraordinaire causé par le piétinement des chevaux, fait sortir les poissons de la vase et les excite au combat. Ces anguilles, jaunâtres et livides, semblables à de grands serpens aquatiques, nagent à la surface de l'eau, et se pressent sous le ventre des chevaux et des mulets. Une lutte entre des animaux d'une organisation si différente offre le spectacle le plus pittoresque. Les Indiens, munis de harpons et de roseaux longs et minces, ceignent étroitement la marre; quelques-uns d'entre eux montent sur les arbres dont les branches s'étendent horizontalement au-dessus de la surface de l'eau. Par leurs cris sauvages et la longueur de leurs joncs, ils empêchent les chevaux de se sauver, en atteignant la rive du bassin. Les anguilles, étourdies du bruit, se défendent par la décharge réitérée de leurs batteries électriques. Pendant long-temps, elles ont l'air de remporter la victoire. Plusieurs chevaux succombent à la violence des coups invisibles qu'ils reçoivent de toutes parts dans les organes les plus essentiels à la vie; étourdis par la force et la fréquence des commotions, ils disparaissent sous l'eau. D'autres, haletant, la crinière hérissée, les yeux hagards et exprimant l'angoisse, se relèvent et cherchent à fuir l'orage qui les surprend; ils sont repoussés par les Indiens au milieu de l'eau : cependant un petit nombre parvient à tromper l'active vigilance des pêcheurs. On les voit gagner la rive, broncher à chaque pas, s'étendre dans le sable excédés de fatigue et les membres engourdis par les commotions électriques des gymnotes.

» En moins de cinq minutes, deux chevaux étaient noyés. L'anguille, ayant cinq pieds de long et se pressant contre le ventre des chevaux, fait une décharge de toute l'étendue de son organe électrique. Elle attaque à la fois le cœur, les viscères et le *plexus cœliacus* des nerfs abdominaux. Il est naturel que l'effet qu'éprouvent les chevaux soit plus

puissant que celui que le même poisson produit sur l'homme lorsqu'il ne le touche que par une des extrémités. Les chevaux ne sont probablement pas tués, mais simplement étourdis ; ils se noient, étant dans l'impossibilité de se relever, par la lutte prolongée entre les autres chevaux et les gymnotes.

» Nous ne doutions pas que la pêche ne se terminât par la mort successive des animaux qu'on y emploie ; mais peu à peu l'impétuosité de ce combat inégal diminue : les gymnotes, fatigués, se dispersent ; ils ont besoin d'un long repos et d'une nourriture abondante pour réparer ce qu'ils ont perdu de force galvanique. Les mulets et les chevaux parurent moins effrayés ; ils ne hérissaient plus la crinière, leurs yeux exprimaient moins l'épouvante. Les gymnotes s'approchaient timidement du bord des marais, où on les prit au moyen de petits harpons attachés à de longues cordes. Lorsque les cordes sont bien sèches, les Indiens, en soulevant le poisson dans l'air, ne ressentent point de commotions. En peu de minutes nous eûmes cinq grandes anguilles, dont la plupart n'étaient que légèrement blessées ; d'autres furent prises vers le soir par les mêmes moyens.

» La température des eaux dans lesquelles vivent habituellement les gymnotes est de 26 à 27°. On assure que leur force électrique diminue dans les eaux plus froides ; et il est assez remarquable, en général, comme l'a déjà observé un physicien célèbre, que les animaux doués d'organes électromoteurs, dont les effets deviennent sensibles à l'homme, ne se rencontrent pas dans l'air, mais dans un fluide conducteur de l'électricité. Le gymnote est le plus grand des poissons électriques ; j'en ai mesuré qui avaient cinq pieds à cinq pieds trois pouces de long : les Indiens assuraient en avoir vu de plus grands encore. Nous avons trouvé qu'un poisson qui avait trois pieds dix pouces de long pesait douze livres. Le diamètre transversal du corps était (sans compter la nageoire analé qui est prolongée en forme de carène) de trois pouces cinq lignes. Les gymnotes du *Cano*

de Bera sont d'un beau vert d'olive. Le dessous de la tête est jaune, mêlé de rouge. Deux rangées de petites taches jaunes sont placées symétriquement le long du dos, depuis la tête jusqu'au bout de la queue. Chaque tache renferme une ouverture excrétoire ; aussi la peau de l'animal est constamment couverte d'une matière muqueuse qui, comme Volta l'a prouvé, conduit l'électricité vingt à trente fois mieux que l'eau pure. Il est en général assez remarquable qu'aucun des poissons électriques découverts jusqu'ici dans les différentes parties du monde ne soit couvert d'écailles ».

Aurore boréale. Nous placerons ici la description d'un phénomène très-curieux que les physiciens regardent comme étant du domaine de l'électricité, quoiqu'on n'ait pas pu jusqu'à présent l'expliquer d'une manière complète par les principes qu'on démontre dans cette branche de la physique.

On appelle *aurore boréale* (1) un phénomène lumineux (2) qui a coutume de paraître du côté du nord ou de la partie boréale du ciel, et dont la lumière, lorsqu'elle est proche de l'horizon, ressemble à celle du point du jour ou à l'aurore.

Ces phénomènes ne paraissent pas souvent dans les pays de l'Europe qui sont un peu éloignés du pôle septentrional, mais ils sont à présent fort ordinaires dans les pays du nord. Il est certain, par les observations de MM. Burman et Celsius, que les aurores boréales fort éclatantes n'avaient jamais été si fréquentes en Suède, qu'elles l'ont été depuis l'an 1716. On ne doit pourtant pas croire qu'il n'y en ait point eu avant ce temps-là, puisque M. Léopold rapporte dans son voyage de Suède, fait en 1707, qu'il avait vu une de ces aurores dont la clarté était fort grande. Cet auteur, après nous avoir donné la description de cette lumière, cite un passage tiré du XII^e^ chap. de la *description*

(1) Il y a probablement aussi des aurores *australes*.

(2) Brisson, dictionnaire de physique.

de l'ancien Groënland, par Thormodus Torfæus, qui prouve que l'aurore boréale était alors connue, et on en trouve même dans cet ouvrage une figure tout à fait curieuse. Comme ce phénomène était assez peu connu et assez rare avant l'an 1716, M. Celsius, habile astronome, prit alors la résolution de l'observer exactement, et de marquer le nombre de fois qu'il paraîtrait. Quoique cet auteur n'ait commencé à faire ses observations qu'après l'an 1716, il n'a pas laissé de trouver que cette lumière avait déjà paru 316 fois en Suède, et il a fait un livre où ces observations sont rassemblées : on a aussi vu plusieurs fois ces sortes d'aurores boréales en Angleterre et en Allemagne ; elles ont été moins fréquentes en France et encore moins en Italie, de sorte qu'elles n'avaient été vues de presque personne avant l'an 1722, et qu'après ce temps-là, on ne les avait encore vues que deux ou trois fois à Bologne. Celle qui a paru en 1726, a été la première qui ait été observée avec quelque soin en Italie. (*Comment. Bonon.*, pag. 285). On a commencé à les voir fréquemment en Hollande depuis l'an 1716, de sorte que depuis ce temps-là jusqu'à présent, on a pu les y observer peut-être autant qu'on l'avait fait, en remontant de cette époque au déluge.

On peut distinguer les aurores boréales en deux espèces ; savoir, celles qui ont une lumière douce et tranquille, et celles dont la lumière est resplendissante : elles ne sont pas toujours accompagnées des mêmes phénomènes.

On y peut observer plusieurs variations ; voici les principales : dans la région de l'air qui est directement vers le nord, ou qui s'étend du nord vers l'orient ou vers l'occident, paraît d'abord une nuée horizontale qui s'élève de quelques dégrés, mais rarement de plus de 40 au-dessus de l'horizon : cette nuée est quelquefois séparée de l'horizon, et alors on voit entre deux le ciel bleu et fort clair. La nuée occupe en longueur une partie de l'horizon, quelquefois depuis 5 jusqu'à 100 dégrés, et même davantage. La nuée est blanche et brillante ; elle est aussi souvent noire et

épaisse. Son bord supérieur est parallèle à l'horizon, et forme comme une longue traînée éclairée, qui est plus haute en certains endroits et plus basse en d'autres : elle paraît aussi recourbée en manière d'arc ressemblant à un disque orbiculaire qui s'élève un peu au-dessus de l'horizon, et qui a son centre au-dessus. On voit quelquefois une large bande blanche ou luisante qui tient au bord supérieur de la nuée noire. La partie sombre de la nuée se change aussi en une nuée blanche et lumineuse, lorsque l'aurore boréale a brillé pendant quelque temps, et qu'elle a dardé plusieurs verges ardentes et éclatantes. Il part du bord supérieur de la nuée, des rayons sous la forme de jets, qui sont quelquefois en grand, quelquefois en petit nombre, tantôt les uns proches des autres, tantôt à quelques dégrés de distance. Ces jets répandent une lumière fort éclatante, comme si une liqueur ardente et brillante sortait avec impétuosité d'une seringue. Le jet brille davantage, et a moins de largeur à l'endroit d'où il part; il se dilate et s'obscurcit à mesure qu'il s'éloigne de son origine. Il s'élève d'une large ouverture de la nuée, une colonne lumineuse comme une fusée, mais dont le mouvement est lent et uniforme, et qui devient plus large en s'avançant. Leurs dimensions et leur durée varient; la lumière en est blanche, rougeâtre ou de couleur de sang; lorsqu'elles avancent, les couleurs changent un peu, et forment une espèce d'arc-en-ciel. Lorsque plusieurs colonnes, parties de divers endroits, se rencontrent au zénith, elles se confondent les unes avec les autres, et forment par leur mélange une petite nuée fort épaisse qui, se mettant d'abord en feu, brûle avec plus de violence, et répand une lumière plus forte que ne faisait auparavant chaque colonne séparément. Cette lumière devient alors verte, bleue et pourpre; et quittant sa première place, elle se porte vers le sud sous la forme d'un petit nuage clair. Lorsqu'il ne sort plus de colonnes, la nuée ne paraît souvent que comme le crépuscule du matin, et elle se dissipe insensiblement.

Ce phénomène dure quelquefois toute la nuit ; on le voit même souvent deux ou trois fois de suite. M. Musschenbroëk l'observa plus de dix jours et dix nuits de suite en 1734, et depuis le 22 jusqu'au 31 mars 1735. La nuée qui sert de matière à l'aurore boréale dure souvent plusieurs heures de suite sans qu'on y remarque le moindre changement, car on ne voit pas alors qu'elle s'élève au-dessus de l'horizon ou qu'elle descende au-dessous : quelquefois elle se meut un peu du nord à l'est ou à l'ouest, quelquefois aussi elle s'étend beaucoup plus loin de chaque côté, c'est-à-dire vers l'est et l'ouest en même temps, et il arrive alors qu'elle darde plusieurs de ces colonnes lumineuses dont nous avons parlé. On l'a vu aussi s'élever au-dessus de l'horizon, et se changer entièrement en une nuée blanche et lumineuse. Enfin, la lumière naît et disparaît quelquefois en peu de minutes.

Pour avoir de ce phénomène une description encore plus exacte, nous ne pouvons pas mieux faire que de nous servir de l'excellent *Traité physique et historique de l'aurore boréale*, que nous a donné M. de Mairan. Il serait difficile de traiter cette matière d'une manière plus claire qu'il ne l'a fait ; nous ne saurions donc trouver un meilleur guide. C'est pourquoi nous tirerons de cet excellent ouvrage tout ce que nous avons à dire sur cet article.

Le commencement du phénomène arrive communément deux, trois ou quatre fois tout au plus après le coucher du soleil, c'est-à-dire, qu'il arrive presque toujours le soir, et presque jamais le matin après minuit, lorsque les nuits sont un peu longues. Les grandes aurores boréales commencent ordinairement de bonne heure, peu de temps après la fin du crépuscule et quelquefois auparavant.

D'abord, c'est une espèce de brouillard assez obscur que l'on aperçoit vers le septentrion, avec un peu plus de clarté vers l'ouest que dans le reste du ciel, c'est-à-dire, plus qu'il

ne convient qu'il y en ait par rapport à l'heure du crépuscule, s'il est encore sur l'horizon.

Le brouillard septentrional se range communément à peu près sous la forme d'un segment de cercle étendu sur l'horizon, ou dont l'horizon fait la corde. La partie visible de sa circonférence se trouve bientôt bordée d'une lumière blanchâtre, d'où résulte un arc lumineux ou plusieurs arcs concentriques, lorsque le premier est bordé lui-même d'une partie de cette matière obscure de l'intérieur du segment, et que celle-ci l'est à son tour d'une matière lumineuse, et ainsi de suite jusqu'à deux ou trois.

Après cela viennent les jets et les rayons de lumière diversement colorés qui partent de l'arc, ou plutôt du segment obscur et fumeux, où il se fait presque toujours quelque brèche éclairée, de laquelle ces rayons paraissent sortir.

On aperçoit alors, quand le phénomène augmente et qu'il doit se répandre au loin, un mouvement général et une espèce de trouble dans toute sa masse, tant à cause des brèches fréquentes qui se forment et qui se détruisent successivement dans le segment obscur et dans l'arc, que par les vibrations de lumière et les éclairs qui viennent frapper de là par secousses toutes les parties et tous les flocons de la même matière enflammée ou non enflammée, qui se trouvent dans l'hémisphère visible du ciel.

Ce n'est jamais qu'après cet incendie, et par une grande extension de la matière boréale, qu'on voit au zénith une espèce de couronne, un point de réunion où tous les mouvemens d'alentour paraissent concourir, et qui fait comme la clef d'une voûte, la lanterne d'une coupole, ou, comme quelques-uns l'ont exprimé, le sommet d'un pavillon ou d'une tente. C'est là le moment de la plus grande magnificence du phénomène, tant par la variété des objets que par la beauté des couleurs dont quelques-uns d'entr'eux se trouvent peints.

Le phénomène n'a plus après cela pour l'ordinaire qu'à

diminuer, qu'à se calmer et à s'éteindre, non sans ressource à la vérité, et sans des reprises qui renouvellent quelquefois à peu près tout ce qu'on avait vu auparavant, les jets de lumière, les éclairs, la couronne, et les couleurs plus ou moins vives, tantôt d'un côté du ciel, tantôt d'un autre : mais enfin le mouvement cesse, la lumière se rapproche de plus en plus de l'horizon, elle quitte les parties méridionales du ciel, celles de l'orient et celles de l'occident, pour passer et s'arrêter du côté du nord qui en demeure seul chargé : le segment obscur se dissipe, il devient lumineux ; c'est d'abord une clarté assez dense près de l'horizon, plus rare à quelques dégrés au-dessus, et qui se perd insensiblement dans le ciel, qui diminue quelquefois avec rapidité, quelquefois avec lenteur, et qu'on voit enfin s'éteindre totalement, si elle ne se joint au crépuscule du matin.

Voilà à peu près la façon dont se font voir les grandes aurores boréales ; c'est avec tout cet éclat que fut aperçue celle du 19 octobre 1726. Mais il arrive beaucoup plus souvent que le phénomène ne se montre que sous quelques-unes des faces que nous venons d'indiquer.

MAGNÉTISME.

Le fer, certains oxides de ce métal, l'acier et deux autres métaux (1) sont susceptibles d'acquérir, dans certaines circonstances, la propriété extraordinaire d'attirer plus ou moins fortement des parcelles ou des morceaux de ces mêmes substances, et de conserver cette vertu pendant un temps illimité ; ils jouissent alors de plusieurs autres propriétés remarquables que nous allons étudier successivement. C'est sous cet état qu'ils prennent le nom d'*aimans ;* ils diffèrent des corps électrisés par les procédés ordinaires, sous plusieurs rapports, mais principalement en ce que leur vertu survit à la cause qui l'a produite, quelquefois même sans

(1) Le nickel et le cobalt.

s'affaiblir. Un grand nombre de faits, que nous rapprocherons plus loin de manière à faire apercevoir leurs liaisons, prouvent d'ailleurs que le magnétisme et l'électricité sont deux modifications de la matière qui ne diffèrent pas essentiellement, et tout nous porte à croire qu'on finira par arriver à expliquer les phénomènes du magnétisme par une théorie analogue à celle que nous avons donnée pour l'électricité. En attendant que de nouvelles découvertes de faits aient jeté plus de jour sur cette branche de la physique, nous nous bornerons à déduire des faits déjà connus, les principes qui peuvent en être tirés rigoureusement. Plusieurs questions importantes resteront sans réponse; mais nous aimons mieux laisser une lacune à remplir, que de donner des explications qui n'auraient pas un dégré suffisant de probabilité.

Pour constater l'attraction que les aimans exercent sur le fer, on peut rouler un aimant dans la limaille de fer, et l'en retirer ensuite pour l'examiner; on trouve alors sa surface garnie de filets de limaille qui abondent vers les arrêtes et, surtout vers les angles à ses deux extrémités en retiennent plus que les autres parties, et la quantité de limaille qui reste adhérente va en diminuant jusqu'à un certain endroit qu'on nomme la *ligne moyenne*, où on n'en observe aucunement. La ligne moyenne des aimans n'est pas toujours vers leur milieu: les extrémités où la vertu attractive est plus considérable se nomment les *pôles* de l'aimant.

On peut encore démontrer l'attraction que les aimans exercent sur le fer en en approchant un d'un pendule terminé par une petite boule de fer; on remarque alors que la boule est attirée de plus loin quand on lui présente un des pôles de l'aimant, et que l'action est d'autant moins vive qu'on lui présente une partie qui se rapproche davantage de la ligne moyenne par laquelle le pendule n'est plus attiré. Une aiguille en fer doux, tournant librement sur son pivot, peut aussi être employée pour ces expériences.

La propriété réciproque qu'a le fer d'attirer l'aimant n'est

pas moins facile à prouver : on met flotter l'aimant sur un liège à la surface de l'eau, ou on le rend mobile de toute autre manière, et on en approche un morceau de fer qui l'attire aussitôt.

Après le contact, l'attraction continue, de sorte que si l'on approche un aimant assez près d'un morceau de fer dont le poids ne soit pas trop grand, celui-ci va joindre l'aimant, et y reste constamment adhérent.

Au moyen d'un aimant et d'un pendule *magnétique*, on peut non seulement constater, comme il a été dit plus haut, que l'aimant attire le fer; mais il est facile aussi de reconnaître, en faisant usage de ces instrumens, que cette attraction diminue à mesure que la distance augmente, et que l'interposition d'une feuille de carton, ou de tout autre corps n'y met pas obstacle, si ce n'est quand ce corps est lui-même *magnétique*, c'est-à-dire capable d'être aimanté. On peut encore constater ce dernier fait en plaçant une feuille de carton sur un aimant, et tamisant de la limaille au-dessus; cette limaille s'arrange lorsqu'on fait éprouver au carton de légers chocs, suivant des courbes régulières comme la représente la *fig.* 205. L'accumulation de la limaille aux points correspondans aux arrêtes des pôles de l'aimant, fournit en outre une nouvelle preuve de leur énergie (1).

Tous les aimans donnent les résultats précédens quand on les soumet à ces expériences; il ne faut pas croire qu'on puisse en les brisant par leur milieu en obtenir d'autres qui n'aient plus qu'un pôle et une vertu décroissante depuis une extrémité jusqu'à l'autre : on remarque au contraire que toutes les fois qu'on rompt un aimant vers sa ligne moyenne, on obtient deux aimans ayant chacun une ligne moyenne et deux pôles; de sorte que, à l'endroit où la fracture a été

(1) La disposition de la limaille suivant des courbes régulières s'explique facilement au moyen des principes qui seront posés plus tard; c'est une question sur laquelle nous engageons nos lecteurs à revenir après avoir étudié les principaux phénomènes magnétiques.

opérée, l'aimant a acquis la vertu magnétique qu'il ne possédait pas auparavant.

Actions des aimans sur les aimans. Un aimant étant suspendu à l'extrémité d'un long fil au moyen d'une chape en papier, ou étant placé sur un pivot; si on lui présente un bout d'un autre aimant qu'on tient à la main, il est attiré par un de ses pôles et repoussé par l'autre. On a ainsi une preuve que les deux extrémités d'un aimant qui agissent de la même manière sur le fer ne sont cependant pas dans des états identiques. On en acquiert une nouvelle, en changeant de bout l'aimant qu'on tient à la main : il repousse alors le pôle qu'il attirait et il attire celui qu'il repoussait. Si on désigne par C et D les pôles de l'aimant mobile, par A le bout de l'aimant fixe qui attirait le pôle C et repoussait le pôle D, par B l'autre bout qui attirait le pôle D et repoussait le pôle C; on observera que les deux pôles de tout autre aimant auront sur C et sur D, l'un la même action que A, l'autre la même action que B, de sorte qu'on pourra les désigner par ces mêmes lettres. Les pôles A de deux aimans se nomment des pôles *semblables*, parce qu'ils agissent de la même manière sur un troisième aimant : le pôle A de l'un et le pôle B de l'autre se nomment des pôles *contraires* ou plutôt *dissemblables*. Pour étudier complètement l'action d'un aimant sur un autre, il faut d'abord reconnaître leurs pôles, les marquer des lettres A et B, puis on suspend l'un des deux : il est facile alors, en lui présentant les extrémités de l'autre, de constater que *les pôles semblables se repoussent* et que *les pôles dissemblables s'attirent*. Ces actions s'exercent à travers toutes les substances, excepté les substances magnétiques.

L'attraction réciproque que le fer et un aimant exercent l'un sur l'autre n'est même qu'un cas particulier de cette proposition que l'expérience vient de démontrer. Pour s'en convaincre, il suffit, après avoir présenté à un aimant un petit cylindre de fer qui y reste suspendu par l'attraction,

de mettre de la limaille en contact avec les diverses parties de ce cylindre : on la voit s'attacher aux deux bouts, et diminuer en quantité en allant des bouts vers un endroit qui est la ligne moyenne. *Sous l'influence d'un aimant, le fer devient donc un aimant ayant aussi deux pôles et une ligne moyenne ;* et si le pôle de l'aimant est un pôle A, celui du fer qui se trouve en contact est un pôle B, et le pôle du fer le plus éloigné de l'aimant est un pôle A : ainsi c'est *comme substance aimantée* que le fer est attiré par l'aimant. Ce fait explique très-bien quelques expériences assez remarquables :

1°. On place en contact avec l'aimant auquel le fer est suspendu un second aimant d'égale force, de manière à approcher du cylindre de fer un pôle B contraire à celui sous l'influence duquel il se trouve déjà ; au lieu d'en être attiré, repoussé, et tombe en vertu de son poids.

2°. En présentant un pôle A à l'extrémité du cylindre de fer la plus éloignée de l'aimant (les circonstances étant telles que nous les avons supposées précédemment), on observe une répulsion, loin d'avoir une attraction, comme cela a lieu dans les circonstances ordinaires, quand on présente un aimant à un morceau de fer mobile.

3°. On présente au cylindre de fer un second cylindre qui y reste suspendu ; à celui-ci on en présente un troisième, il adhère également. On peut former ainsi une chaîne qui se continue jusqu'à ce que son poids finisse par l'emporter sur l'attraction qui en lie les diverses parties.

Cette chaîne se sépare dans toutes ses parties lorsque, soutenant le premier cylindre, on enlève l'aimant : aussitôt qu'on éloigne l'aimant, son influence cessant, le fer perd sa vertu magnétique presque instantanément.

L'action des aimans sur la limaille d'acier est la même à peu près que sur celle de fer ; mais sur des morceaux d'acier, elle est beaucoup plus lente, surtout s'ils sont trempés. Il faut alors un temps plus ou moins long pour que l'aimantation s'opère : ainsi un cylindre d'acier qu'on

présente à un aimant n'y reste pas alors suspendu, comme cela arriverait à un morceau de fer ; après quelques instans, cette différence n'existe plus. Si l'acier acquiert plus difficilement la vertu magnétique, il doit aussi la perdre plus difficilement ; c'est en effet ce qu'on observe : après l'éloignement de l'aimant, il reste aimanté. Le contact est donc un des procédés d'aimantation : nous reviendrons par la suite sur ce sujet ; mais on a dès à présent un moyen de se procurer de petits aimans, en mettant en contact avec un aimant de petits cylindres d'acier plus ou moins trempés (des aiguilles à coudre s'aimantent facilement par ce moyen).

Action de la terre sur les aimans. Une aiguille aimantée suspendue horizontalement ou posée sur un pivot prend, lorsqu'elle est abandonnée à elle-même, une direction bien déterminée à laquelle elle revient lorsqu'on l'écarte, et dans laquelle seule elle peut rester en équilibre. Cette direction diffère peu, en général, de celle du nord ; dans certains pays, ces deux directions coïncident. Lorsqu'elles diffèrent, on appelle *déclinaison* l'angle qu'elles font entr'elles ; et, comme l'aiguille peut s'écarter à l'est ou à l'ouest, on distingue la déclinaison *orientale* de la déclinaison *occidentale*. Le plan passant par l'aiguille et le centre de la terre, ou simplement l'intersection de ce plan et de la surface terrestre, est le *méridien magnétique ;* il coïncide avec le méridien *astronomique* ou *terrestre* dans les pays où la déclinaison est nulle.

La direction de l'aiguille aimantée ne peut pas être attribuée à des causes locales, car on a observé ce phénomène dans presque tous les pays de la terre : elle ne peut donc être attribuée qu'à une modification de notre globe qui le met en état d'agir sur les aimans. M. Ampère pense que l'équateur terrestre est le siège d'un courant qui est la cause de la direction de l'aiguille qui tend à se tourner en croix avec lui (*voyez* page 316). Presque tous les physiciens ont considéré la terre comme un gros aimant dont les pôles

seraient voisins des pôles terrestres, et ils ont comparé l'action de cette planète sur les aimans à celle qu'un gros aimant exerce sur un petit qu'on suspend au-dessus de lui, et qui se trouve dirigé parallèlement à l'axe du premier. On a donné le nom de pôle *boréal* ou pôle *nord* au pôle magnétique de la terre qui avoisine le pôle nord terrestre, et celui de pôle *austral* ou pôle *sud* au pôle magnétique opposé. D'après cela, comme ce sont les pôles dissemblables qui s'attirent, on devrait donner au pôle de l'aiguille qui se tourne au nord le nom de pôle *sud*, et réciproquement ; c'est ainsi que nous désignerons désormais les pôles d'un aimant quelconque. Souvent on appelle, au contraire, pôle nord d'un aimant celui qui se trouve au nord ; pourvu qu'on y fasse attention, ces dénominations sont indifférentes.

Tout instrument destiné à mesurer la déclinaison se nomme une *boussole de déclinaison*. On peut se servir d'une aiguille aimantée posée sur un pivot au centre d'un cercle gradué : après avoir tracé une méridienne, on place le centre de ce cercle sur cette ligne, et on le tourne de manière que le zéro de sa graduation y soit aussi, et du côté du nord. L'arc compris entre le zéro et la pointe de l'aiguille fait alors connaître la déclinaison.

A l'observatoire royal de Paris, on a fait un grand nombre d'expériences desquelles est résultée la preuve d'un fait très-important : *Que la déclinaison de l'aiguille aimantée varie dans le même lieu avec le temps*. C'est ce qu'on peut reconnaître en consultant le tableau suivant, qui renferme les résultats obtenus pendant un grand nombre d'années :

Table des différens dégrés de déclinaison de l'aiguille aimantée observée à Paris.

ANNÉES.	DÉCLINAISON.	
	Dégrés.	*Minutes.*
1550.	8. . . .	0 est.
1580.	11. . . .	30 *id.*
1610.	8. . . .	0 *id.*
1640.	3. . . .	0 *id.*
1644.	0. . . .	40 *id.*
1666.	0. . . .	0 ouest.
1670.	1. . . .	30 *id.*
1680.	2. . . .	40 *id.*
1681.	2. . . .	30 *id.*
1683.	3. . . .	50 *id.*
1684.	4. . . .	10 *id.*
1685.	4. . . .	10 *id.*
1686.	4. . . .	30 *id.*
1692.	5. . . .	50 *id.*
1693.	6. . . .	20 *id.*
1695.	6. . . .	48 *id.*
1696.	7. . . .	8 *id.*
1698.	7. . . .	40 *id.*
1699.	8. . . .	10 *id.*
1700.	8. . . .	12 *id.*
1701.	8. . . .	25 *id.*
1702.	8. . . .	48 *id.*
1703.	9. . . .	6 *id.*
1704.	9. . . .	20 *id.*
1705.	9. . . .	35 *id.*
1706.	9. . . .	48 *id.*
1707.	10. . . .	10 *id.*
1708.	10. . . .	15 *id.*
1709.	10. . . .	15 *id.*
1710.	10. . . .	50 *id.*
1711.	10. . . .	50 *id.*

Années.	Déclinaison.	
	Dégrés.	*Minutes.*
1712.	11. . . .	15 ouest.
1713.	11. . . .	12 *id.*
1714.	11. . . .	30 *id.*
1715.	11. . . .	10 *id.*
1716.	12. . . .	20 *id.*
1717.	12. . . .	45 *id.*
1718.	12. . . .	30 *id.*
1719.	12. . . .	30 *id.*
1720.	13. . . .	0 *id.*
1721.	13. . . .	0 *id.*
1722.	13. . . .	0 *id.*
1723.	13. . . .	0 *id.*
1724.	13. . . .	0 *id.*
1725.	13. . . .	15 *id.*
1726.	13. . . .	45 *id.*
1727.	14. . . .	0 *id.*
1728.	14. . . .	0 *id.*
1729.	14. . . .	10 *id.*
1730.	14. . . .	25 *id.*
1731.	14. . . .	45 *id.*
1732.	15. . . .	15 *id.*
1733.	15. . . .	45 *id.*
1734.	15. . . .	45 *id.*
1735.	15. . . .	40 *id.*
1736.	15. . . .	0 *id.*
1737.	15. . . .	45 *id.*
1738.	15. . . .	10 *id.*
1739.	15. . . .	20 *id.*
1740.	15. . . .	45 *id.*
1741.	15. . . .	40 *id.*
1742.	15. . . .	40 *id.*
1743.	15. . . .	10 *id.*
1744.	16. . . .	15 *id.*
1745.	16. . . .	15 *id.*

ANNÉES.	DÉCLINAISON.	
	Dégrés.	*Minutes.*
1746.	16. . . .	15 ouest.
1747.	16. . . .	30 *id.*
1748.	16. . . .	15 *id.*
1749.	16. . . .	30 *id.*
1750.	17. . . .	15 *id.*
1767.	19. . . .	16 *id.*
1780.	19. . . .	55 *id.*
1785.	22. . . .	00 *id.*
1805.	22 . . .	05 *id.*
1813.	22. . . .	28 *id.*
1814.	22. . . .	34 *id.*
1816, 12 oct., 3 heures après midi.	22. . . .	25 *id.*
1817, 10 fév., 1 heure après midi.	22. . . .	19 *id.*
1818, 15 oct., 2 heures après midi.	22. . . .	22 *id.*
1819, 22 avril, 2 heures après midi.	22. . . .	48 *id.*
1820.	». . . .	» *id.*
1821.	». . . .	» *id.*
1822, 9 oct., midi.	22. . . .	11 *id.*
1823, 21 nov.	22. . . .	23 *id.*
1824, 13 juin, 1 heure après midi.	22. . . .	23 *id.*
1825, 18 août, midi.	22. . . .	22 *id.*
1826.	». . . .	» *id.*

En observant en même temps la position d'un astre par rapport à la direction de l'aiguille, au moyen d'appareils convenables, on peut, par des calculs astronomiques, déterminer la déclinaison d'après la connaissance qu'on a d'ailleurs de la position de l'astre à chaque instant par rapport au méridien terrestre.

Presque toujours l'aimantation des aiguilles aimantées est un peu irrégulière ; il en résulte des erreurs dont il faut se garantir quand on veut une grande précision : on se sert pour y parvenir de la méthode du retournement. Avant

de chercher à faire comprendre en quoi elle consiste, nous devons donner une nouvelle définition du pôle. Ce mot, outre le sens que nous lui avons donné jusqu'à présent, en reçoit souvent un autre : on l'emploie pour indiquer *le point d'application de la résultante de toutes les forces qu'une substance magnétique placée à une distance un peu grande* (1) *exerce sur une moitié de l'aiguille* : c'est, pour ainsi dire, le *centre de gravité magnétique* d'une moitié de l'aiguille. Cela posé, on conçoit très-bien que, quoique l'aiguille soit une losange très-allongée posée sur un pivot par son centre, si l'aimantation est irrégulière, la ligne qui joint les deux pôles, et qu'on nomme l'*axe magnétique*, peut être différente de la ligne qui passe par les deux pointes de l'aiguille, et faire avec celle-ci un petit angle. En prenant pour la déclinaison l'arc compris entre la pointe de l'aiguille et le méridien terrestre, on commet donc une erreur égale à ce petit angle en plus ou en moins, suivant que l'axe magnétique de l'aiguille est situé par rapport à son axe de figure du côté du méridien ou de l'autre côté. On enlève l'aiguille et on la retourne en en détachant la chape qu'on introduit en sens contraire (2), de sorte que la face supérieure se trouve alors en bas ; on fait une nouvelle expérience qui conduit évidemment à une erreur égale à la première, mais en sens contraire. D désignant la déclinaison vraie, E désignant l'erreur, une de ces observations fait connaître D+E ; l'autre fait connaître D—E ; il ne reste plus qu'à faire la somme de ces deux quantités, et à prendre la moitié de cette somme qui est la déclinaison exacte.

(1) La distance doit être assez grande pour qu'on puisse regarder comme étant sensiblement parallèles les lignes menées d'un point quelconque de la substance magnétique à chacun des points de l'aimant soumis à son action.

(2) L'aiguille employée dans cette expérience est une lame d'acier ayant la forme d'une losange très-allongée ; à son centre est percé un trou destiné à recevoir une chape, comme le représente la *fig.* 206.

Des nonius sont disposés de manière à permettre de mesurer les arcs avec exactitude.

Applications de la direction de l'aiguille aimantée. « La (1) direction de l'aimant est de toutes les propriétés qu'on lui connaît, celle qui nous a été la plus utile jusqu'à présent. Celui qui s'aperçut le premier qu'une lame de fer aimantée, lorsqu'elle avait la liberté de se mouvoir facilement, se tournait de manière que ses deux extrémités indiquassent le nord et le sud, demeura probablement occupé de cette nouveauté, et ne pensa point à en faire d'autre usage que d'exciter l'admiration de ceux qui pouvaient n'en avoir point encore eu connaissance : mais, dans le grand nombre des admirateurs, il était bien difficile qu'il ne se rencontrât enfin quelqu'un de ces génies attentifs à mettre à profit les découvertes que l'on doit assez souvent au hazard. Il s'en trouva en effet, et l'on pensa qu'un instrument capable d'indiquer par lui-même le nord et le sud, devait être d'un grand secours à quiconque aurait besoin de s'orienter dans des temps et dans des lieux où le ciel ne pourrait être consulté.

» C'est là précisément le cas où l'on se trouve dans un bâtiment de mer, lorsqu'on a perdu les côtes de vue, et que les astres sont cachés par des nuages épais. Comme les vents peuvent changer à tout instant, il faut que la manœuvre change aussi pour entretenir le vaisseau dans sa route. Mais lorsqu'on ne voit ni le ciel ni la terre, comment saurait-on que l'on manœuvre à propos, ou qu'on a justement remédié à l'inconstance du vent? Cette difficulté tenait autrefois la navigation dans des bornes très-étroites; à peine osait-on perdre la terre de vue : ce n'est, à proprement parler, que depuis l'invention de la boussole que l'on a entrepris des voyages de longs cours, et qu'on a vu fleurir le commerce de mer en Europe.

(1) Abbé Nollet, leçons de physique expérimentale.

» Les historiens ne conviennent point trop entre eux ni du temps, ni du lieu où cet instrument a pris naissance : le lecteur qui sera curieux d'apprendre ce que l'on en peut savoir, pourra consulter le spectacle de la nature de feu M. Pluche (1) ; il y trouvera en même temps un détail historique des plus importantes découvertes qui ont été faites, depuis que l'aiguille aimantée a rendu les navigateurs plus hardis. Je dirai seulement qu'au 12e siècle, les pilotes français s'aidaient déjà de cette aiguille qui portait alors le nom de *marinette*, à cause de l'usage qu'on en faisait sur mer ; et à l'égard du pays à qui l'on doit faire honneur de cette invention, n'est-ce point un préjugé en faveur de la France, qu'à toutes les rosettes de boussoles des différentes nations, le nord soit toujours marqué par une fleur-de-lys ?

» La boussole ou *compas de mer* est composée de trois parties différentes, savoir : la rosette, la suspension et la boîte qui contient le tout.

» La *rose* ou *rosette* est ordinairement un carton fin ou une feuille de talc couverte de papier, d'une figure circulaire, dont la circonférence est divisée en 360 dégrés, comme on peut le voir par la *fig.* 207. Le diamètre de la rosette est égal à une lame d'acier aimantée de 8 à 10 pouces de longueur, et qui est fixée dessus ou dessous : au milieu de cette lame ou aiguille, et au centre de la rose, est une chape ou *chapelle*, c'est-à-dire un petit cône creux de métal ou d'agate qui excède le plan supérieur du cercle, et dans lequel est reçu le pivot sur lequel la rose doit tourner.

» Quant à la suspension, on la fait ordinairement de la manière suivante :

» Un hémisphère creux de cuivre porte à son bord deux petits tourillons diamétralement opposés, par le moyen desquels il est suspendu et mobile dans une zône circulaire de même métal, laquelle se meut elle-même sur deux tou-

(1) Tom. IV, pag. 419 et suiv.

rillons semblables, dont l'alignement AA coupe à angles droits celui des deux premiers BB (*fig.* 208).

» La boîte qui contient le tout (*fig.* 209) est faite de bois, et reçoit dans deux entailles pratiquées aux bords de ses deux côtés opposés C, C, les deux tourillons A, A; dans le fond de la cuvette hémisphérique, qui est lestée avec du plomb, est fixé un pivot très-pointu et très-dur, qui porte la rosette à la hauteur des bords de ce vase où sont élevées deux pinules D, D.

» On concevra aisément qu'au moyen d'une telle suspension la rosette peut s'entretenir dans une situation horizontale, de quelque côté que le mouvement du vaisseau fasse pencher la boîte; et que tandis qu'on bornoie un objet par les pinules, la rosette qui tourne librement sur son pivot, obéissant à l'aiguille aimantée à laquelle elle tient, montre, par le nombre de dégrés interceptés entre la pinule la plus éloignée de l'œil et l'endroit où l'aiguille se fixe, à quel point de l'horizon répond l'objet qu'on observe.

» Et si la ligne qui passe par les pinules est parallèle à la quille du vaisseau, on voit par le même moyen si la route du vaisseau se maintient dans la direction qu'on veut qu'elle ait.

» Quelqu'un qui serait égaré dans une forêt pourrait s'orienter avec une boussole portative, et retrouver le lieu où il voudrait se rendre; c'est apparemment pour de telles occasions que la mode s'est introduite de porter de petites boussoles pendues aux cordons de montres : mais quels secours peut-on attendre de pareils colifichets, si l'on sait qu'une aiguille aimantée de deux pouces de longueur, est à peine capable de rendre ce service à quelqu'un qui saurait bien la mettre en usage?

» Bien des gens portent encore de ces cadrans solaires garnis de boussoles, qu'on appelle des *Butterfields*, du nom de l'ouvrier qui les faisait le mieux de son temps : on les oriente en les posant horizontalement sur un endroit fixe, et en les tournant jusqu'à ce que l'aiguille aimantée s'arrête

vis-à-vis le degré qui marque la déclinaison du lieu (1). Alors, s'il fait du soleil, l'index qui s'élève sur le plan du cadran marque par son ombre à peu près l'heure qu'il est; je dis à peu près, mais c'est à condition que la boussole sera grande, que l'aiguille sera bien mobile et bien aimantée, qu'il n'y aura aucun fer ni acier dans le voisinage, et que celui qui voudra savoir l'heure avec cet instrument saura bien s'en servir : sans cela, il ne vaut pas la plus mauvaise montre.

» Quelque utile que soit la boussole en mer, elle ne l'est point encore autant qu'elle pourrait l'être, si l'aiguille aimantée, qui en est la pièce principale, avait une direction constante; si elle se dirigeait toujours au vrai nord ou au vrai sud, ou bien à tout autre point de l'horizon, pourvu qu'elle ne changeât jamais. Quand une fois on aurait réglé la route du vaisseau pour faire un certain angle avec la direction de l'aiguille, il n'y aurait plus d'autre soin à prendre que celui de conserver cet angle toujours le même, et l'on serait assuré que la route ne serait point changée, ou l'on saurait au moins de quelle quantité elle l'est. Mais ce qui jette beaucoup d'incertitude dans l'usage de la boussole, et ce qui oblige à ne perdre aucune occasion de se redresser par l'inspection du ciel, c'est que cette direction de l'aimant, si précieuse à la navigation, varie d'un lieu et d'un temps à l'autre; il y a, comme nous l'avons déjà dit, plusieurs endroits dans le monde où l'aiguille aimantée affecte de se tourner exactement vers le nord et vers le sud, et il y en a une infinité d'autres où elle s'en écarte plus ou moins.

» Quoique ce fût une assez grande incommodité dans l'usage de la boussole, que d'être obligé d'apprendre la déclinaison de l'aimant pour chaque lieu, l'importance de cet instrument vaudrait bien la peine qu'on s'en assurât, si les observations une fois faites pouvaient servir de règle par la

(1) Je dirai tout à l'heure ce que c'est que la déclinaison du lieu.

suite : c'était sans doute dans cette vue que M. Halley avait dressé en 1700 une carte générale, sur laquelle on voit une ligne qui passe par tous les endroits observés où l'aimant n'avait point de déclinaison, et d'autres lignes qui indiquent par un chiffre de combien il déclinait en d'autres lieux (1); mais malheureusement la variation qui dépend du temps ne suit aucune règle dont on soit sûr ».

Inclinaison de l'aiguille aimantée. Jusqu'à présent, nous avons supposé que l'aiguille était suspendue de manière à se tenir horizontalement : elle ne garde pas cette position, lorsqu'on la dispose horizontalement avant de l'aimanter, et qu'on lui communique ensuite la vertu magnétique. On la voit s'incliner du côté du pôle de la terre le plus voisin, si le mode de suspension le permet, et faire avec l'horizon un angle plus ou moins grand, suivant les pays et les temps; c'est cet angle qu'on appelle l'*inclinaison* de l'aiguille aimantée. Pour la mesurer, on se sert d'un appareil nommé *boussole d'inclinaison* ou *aiguille d'inclinaison*. Quand on veut construire cet instrument, on passe un axe A A dans le milieu (2) d'une aiguille SN (*fig.* 210), et on la soutient sur cet axe; en sorte qu'elle soit placée comme un fléau de balance. Si, après l'avoir mis en équilibre, en rendant ses deux moitiés également pesantes, on lui communique la vertu magnétique en la frottant sur un aimant, son extrémité N, qui se dirige vers le nord, s'incline à l'horizon dans notre hémisphère septentrional; et dans l'hémisphère méridional, c'est son extrémité S qui s'abaisse vers la terre. La quantité dont cette aiguille s'incline alors, marque le dégré d'inclinaison de l'aimant pour le lieu où l'on est. Pour connaître cette quantité, il faut mesurer l'angle que l'aiguille fait alors avec le plan de l'horizon. Or, pour mesurer commodément cet angle, on élève verticalement sur le pied de l'aiguille

(1) V. l'essai de physique de Muschenbroek, in-4°, tom. II.

(2) Brisson, dictionnaire de physique.

une portion de cercle KH (*fig.* 211), divisée en dégrés. Le nombre de dégrés ou l'arc de ce cercle vertical, compris entre la ligne horizontale HE et la direction actuelle de l'aiguille, donne l'inclinaison actuelle de l'aimant.

Cette inclinaison est d'autant plus considérable que l'aiguille est plus proche des pôles du monde, et d'autant moindre qu'elle est plus proche de l'équateur, en sorte que sous la ligne l'aiguille est horizontale.

Il faut apporter beaucoup de soin dans la construction de la boussole d'inclinaison, et prendre garde de la diriger de manière qu'elle se meuve dans le méridien magnétique. Pour éviter toute erreur, on doit faire en sorte :

1°. Que l'axe des aiguilles soit bien perpendiculaire à leur longueur, et qu'il passe exactement par leur centre de gravité ;

2°. Que les tourillons de cet axe soient exactement ronds et polis, et du plus petit diamètre que le permettra la pesanteur de l'aiguille ;

3°. Que cet axe roule sur deux tablettes qui soient dans un même plan bien horizontal, très-dur et très-poli.

Mais comme l'inflexion de l'aiguille, et la difficulté de placer cet axe exactement dans le centre de gravité, peut causer des erreurs sensibles dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée, voici la construction d'une nouvelle aiguille. On en choisira une de bonne longueur, à laquelle on ajustera un axe perpendiculaire, et dans le centre de gravité, le mieux qu'il sera possible ; on aura un petit poids mobile, comme de dix grains, pour une aiguille qui en pèse 6000, et on approchera ce petit poids auprès des tourillons jusqu'à environ la vingtième partie de la longueur d'une des moitiés; ensuite on mettra l'aiguille en équilibre horizontalement avec toute l'attention possible; et lorsqu'elle sera en cette situation, on marquera le lieu du petit poids : alors on l'éloignera des tourillons vers l'extrémité de l'aiguille, jusqu'à ce qu'elle ait pris une inclinaison de cinq dégrés. On marquera encore sur l'aiguille le lieu du petit poids, et on le reculera jusqu'à

ce que l'inclinaison soit de 10 dégrés, et ainsi de suite, en marquant le lieu du petit poids de cinq en cinq dégrés. Après ces préparations on aimantera l'aiguille, en observant que le côté auquel est attaché le petit poids devienne le pôle boréal pour les pays où la pointe méridionale de l'aiguille s'élève; et qu'il soit au contraire le pôle méridional pour les pays où la pointe septentrionale s'élève au-dessus de l'horizon. La manière de se servir de cette boussole d'inclinaison consiste à mettre d'abord le petit poids à la place qu'on présumera convenir à peu près à la véritable inclinaison de l'aiguille; après quoi, on l'avancera ou reculera, jusqu'à ce que l'inclinaison marquée par l'aiguille s'accorde avec celle que marque le petit poids, et de cette manière l'inclinaison de l'aiguille sera la véritable inclinaison, puisque le poids de l'aiguille ne l'altérera pas.

Tableau de l'inclinaison pour Paris.

Année		
1671	75°	
1754	72	15′
1776	72	25
1789	71	48
1791	70	52
1798	69	51
1806	69	12
1810	68	50
1814	68	36
1816	68	40
1817	68	38
1818	68	35
1819	68	25
1820	68	20
1821	68	14
1822	68	11
1823	68	8
1824	68	7
1825	68	0
1826	68	0

La déclinaison, et il en est probablement de même de l'inclinaison, éprouve, outre les variations dont nous avons parlé précédemment, des changemens plus légers aux différentes heures du jour, des *variations diurnes*. La position du soleil paraît avoir une grande influence sur ces effets : d'après Cassini, le *maximum* de déclinaison a lieu entre midi et trois heures du soir ; l'aiguille reste alors stationnaire ; la déclinaison diminue ensuite jusqu'à huit heures du soir, reste constante pendant toute la nuit, puis croît jusqu'à midi ; après quoi, les mêmes effets se reproduisent. Les variations diurnes sont plus étendues entre les équinoxes du printemps et d'automne, que pendant le reste de l'année ; elles dépendent aussi des lieux : à Paris, les plus grandes sont de 13′ à 16′, et les plus petites de 8′ à 10′. Elles sont les mêmes dans les caves de l'observatoire, à plus de 80 pieds au-dessous de la surface du sol.

Quand on se rapproche des pôles, les variations diurnes deviennent plus étendues et moins régulières ; le *maximum* ne s'observe plus aux mêmes heures.

Les instrumens qui servent à mesurer les variations diurnes demandent à être faits avec un très-grand soin ; ils se composent ordinairement d'un barreau aimanté suspendu à un faisceau de fils de soie sans torsion : les deux extrémités parcourent des arcs divisés en très-petites fractions de dégrés, et on observe la position de l'aiguille au moyen d'une loupe.

Perturbations de l'aiguille de déclinaison. On appelle ainsi les changemens de direction que l'aiguille de déclinaison éprouve sous l'influence des aurores boréales, des tremblemens de terre et de plusieurs autres circonstances. La première de ces causes agit assez puissamment pour qu'on puisse, à des lieux très-éloignés de ceux où l'aurore boréale est visible, juger que ce phénomène a été produit en observant seulement les perturbations de l'aiguille.

Action des aimans sur tous les corps. Coulomb et après lui M. Lebaillif ont constaté, par des expériences faites au moyen d'appareils d'une mobilité extrême, que les aimans agissent sur toutes les substances : le fer, le nickel et le cobalt ne présentent, par rapport aux autres corps, qu'une différence très-considérable dans la grandeur des effets qu'ils produisent.

Action des corps en repos sur les aimans en mouvement et des corps en mouvement sur les aimans. M. Arago a observé en 1824 qu'une aiguille aimantée mobile dans un plan horizontal, et qui faisait, étant environnée d'air, 300 ou 400 oscillations, quand on l'écartait du méridien magnétique, revenait au repos bien plus vîte, quand elle se trouvait très-près d'une masse d'un corps solide ; au point que le nombre des oscillations pouvait être réduit à 3 ou 4. Ce sujet a été étudié depuis par plusieurs physiciens : M. Seebeck a obtenu, en se servant d'une aiguille de 2 pouces $\frac{1}{8}$ de longueur, qu'il plaçait à 3 lignes de distance des plaques, et en comptant le nombre des oscillations qu'elle faisait pendant que leur amplitude était réduite de 45° à 10°, les résultats suivans :

Nombre des oscillations.	*Epaisseur des plaques.*	*Substances.*
116	0, *lignes*	
112	2,0	Mercure.
106	2,0	Bismuth.
94	0,4	Platine.
90	2,0	Antimoine.
89	0,75	Plomb.
89	0,2	Or.
71	0,5	Zinc.
68	1,0	Etain.
62	2,0	Laiton.
62	0,3	Cuivre.
55	0,3	Argent.
6	0,4	Fer.

M. Arago a fait aussi des expériences inverses ; il a fait tourner les plaques en laissant l'aiguille immobile, et il a observé les faits suivans :

L'aiguille est déviée plus ou moins dans le sens où s'effectue la rotation de la plaque ; elle atteint une position dans laquelle elle se maintient, si le mouvement de la plaque n'est pas très-rapide : dans le cas contraire, elle paraît entraînée par la plaque, et tourne sans s'arrêter. La nature des substances employées pour composer les plaques influe sur les effets obtenus : les substances métalliques agissent beaucoup plus que les autres, et parmi elles le cuivre doit être placé en première ligne, les corps magnétiques exceptés.

M. Arago suspendit l'aiguille verticalement à l'extrémité du fléau d'une balance, et après l'avoir mise en équilibre avec des poids suspendus à l'autre extrémité du fléau, il fit tourner au-dessous d'elle une plaque horizontale : le poids de l'aiguille parut alors diminué d'une certaine quantité, d'où il conclut que le pôle inférieur de l'aiguille était repoussé.

Il plaça ensuite une aiguille d'inclinaison de manière que son plan de rotation était perpendiculaire au méridien magnétique, position dans laquelle l'aiguille se dirige verticalement.

L'aiguille coïncidant avec l'axe de rotation de la plaque, on n'observait aucun effet.

Lorsqu'on éloignait l'aiguille du centre de la plaque pour la rapprocher de sa circonférence, elle paraissait d'abord attirée vers le centre ; puis arrivée à un certain point situé entre le centre et la circonférence, elle n'éprouvait aucune action ; au-delà de ce point, elle était repoussée au lieu d'être attirée, et cette répulsion allait en augmentant, jusqu'à ce que l'aiguille tombât hors du disque.

En mettant les aimans en mouvement de rotation continu, on a pu les faire agir sur des substances magnétiques et sur des fils métalliques, de manière à en obtenir des étincelles : en modifiant l'appareil, on a réussi à s'en servir aussi pour

produire des courans capables de décomposer l'eau. Ces expériences qui sont les inverses de celles que nous avons indiquées à la page 328, nous font apercevoir une analogie remarquable entre le magnétisme et l'électricité. Voici la description de la première :

« L'appareil (1) est composé de deux fers à cheval de même ouverture, l'un d'acier aimanté, l'autre en fer doux. Ils sont situés bout à bout dans un plan vertical, passant par l'axe de figure qui leur est commun ; les bouts opposés, quoique très-rapprochés, ne se touchent pas.

» Les sections transversales sont pour l'aimant un rectangle, et pour le fer doux un cercle dont le diamètre pourrait égaler la largeur du rectangle. Un fil de cuivre entouré de soie fait plusieurs révolutions sur les deux branches du fer doux ; il y est retenu par quatre rondelles de cuivre, dont deux affleurent les bouts circulaires de ces branches. Les extrémités du fil de cuivre sont dirigées vers une capsule, ou un flacon de verre, contenant du mercure, et fixées à une petite distance de la surface de ce métal à l'état de repos.

» L'aimant en fer à cheval, dont la courbure est en bas, tourne sur son axe de figure, qui est vertical, et à chaque demi-révolution, ses deux bouts polaires *nord* et *sud* sont en conjonction avec ceux du fer doux qui sont fixes, et sur lesquels l'aimant agit à distance. La même influence momentanée se communique au fil enroulé, et produit aux extrémités de ce fil une suite d'étincelles électriques qu'on aperçoit à la surface du mercure.

» Si l'un des bouts du fil de cuivre enroulé sur le fer doux plonge dans le mercure, l'étincelle sera plus vive à l'extrémité non plongée.

» Le fer doux et le fil de cuivre enveloppé de soie qui l'entoure étant fixes, on fait tourner l'aimant au moyen d'une manivelle et d'une roue d'angle qui engrène un pignon

(1) Annales de physique et de chimie.

horizontal monté sur l'axe de rotation du fer à cheval aimanté, lequel axe est au-dessous de la courbure de ce fer à cheval.

» L'aimant de cet appareil, dont la construction est de MM. Pixii, pèse 2 kilogrammes et peut en porter 15. Sa section transversale est un rectangle dont les côtés ont 35 et 10 millimètres. La hauteur verticale du fer à cheval, dans le sens de l'axe de figure, est de 21 centimètres; l'ouverture ou l'écartement des bouts polaires, de 2 centimètres. Cet écartement est le même entre les bouts opposés du fer doux, dont les bouts cylindriques ont 15 millimètres de diamètre. La longueur du fil enroulé est de 50 mètres; son poids de $\frac{1}{4}$ de kilogramme.

» Le flacon de verre contenant le mercure est placé sur le chassis en bois de l'appareil, et participe au mouvement vibratoire qui résulte du choc des dents du pignon fixé sur l'axe de l'aimant par la roue qui engrène ce pignon. Ce mouvement élève la surface du mercure à la hauteur de l'extrémité du fil non plongé; le flot du mercure prenant une autre direction, l'étincelle se manifeste à l'instant où l'extrémité du fil sort du flot.

» Pour opérer la décomposition de l'eau, M. Pixii a monté un aimant en fer à cheval sur le bout de l'arbre d'un tour en l'air, et au moyen d'une pédale, il a fait tourner cet aimant en face d'une pièce en fer doux pliée en fer à cheval; cette pièce était enveloppée par un fil de cuivre couvert de soie. On a mis les deux extrémités de ce fil en communication avec deux autres fils métalliques, qui traversaient le fond d'un vase plein d'eau. Chacun de ces derniers fils s'élevait dans un tube de verre de la forme d'une petite cloche renversée. L'eau contenue dans le vase et dans les deux tubes ne formait qu'une seule masse liquide. Pendant que l'aimant tourne, la décomposition de l'eau se fait aux extrémités des fils placés dans les tubes de verre; les deux gaz, oxigène et hydrogène, s'élèvent au sommet de chaque tube ».

On peut, au moyen d'un appareil particulier, obtenir les deux gaz séparés, comme cela arrive dans l'expérience de la page 345.

Les aimans en repos sont susceptibles de produire aussi des effets chimiques dont nous allons rapporter quelques-uns :

1°. Un tube en verre de 1 millimètre de diamètre et de 12 centimètres de long ayant été recourbé en V et rempli de teinture de choux rouge, on plongea dans chaque branche un fil de fer, et ces deux fils furent soutenus par un aimant en fer à cheval aux deux pôles duquel ils adhéraient.

Après un quart d'heure, toute la teinture devint d'un beau vert.

2°. Cet effet se produisit encore, quoique plus lentement, lorsque, au lieu de mettre les deux fils de fer en contact avec la teinture, on les introduisit dans de petits tubes de verre fermés par leur extrémité inférieure, et qui étaient eux-mêmes plongés dans la teinture.

Ces résultats ne peuvent pas d'ailleurs être regardés comme une altération spontanée de la teinture en contact avec l'air; car, indépendamment de ce qu'il faudrait pour cela un temps plus long, la teinture passerait au rouge et non pas au vert.

3°. Trois petits vases étant pleins d'eau pure, ou légèrement et également acidifiée, on mit dans le premier un fil d'acier non aimanté; dans le second, le pôle boréal d'un fil aimanté; et dans le troisième, le pôle austral d'un autre fil aimanté.

Les trois fils s'oxidèrent, mais dans des temps inégaux; le pôle austral fut le premier rouillé; le fil non aimanté ensuite : le pôle boréal ne fut attaqué qu'après les deux autres.

Sources du magnétisme. « On trouve dans la nature une matière qui jouit de la vertu magnétique, sans qu'on ait besoin de la soumettre à aucune préparation. C'est une pierre

qui se trouve communément dans les mines de fer ou de cuivre, ou dans leur voisinage : celles qu'on estime le plus viennent des Indes ; on en apporte aussi d'assez bonnes d'Italie, d'Allemagne, de Suède et d'Espagne. Les droguistes à Paris en tiennent dans leurs magasins des tonneaux pleins qu'ils font venir d'Auvergne, et dont on fait usage pour certains remèdes extérieurs. Dans la grande quantité, j'en ai quelquefois trouvé des morceaux qui méritaient d'être armés ; mais cela est rare ; et la vertu de ces aimans est toujours médiocre.

» M. de Réaumur regardait le fer comme un aimant imparfait, et d'autres considèrent l'aimant comme un fer mêlé de parties terrestres et des autres principes qu'on y reconnaît, en l'examinant selon les règles de la chimie. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'on a vu la rouille de fer, mêlée avec des parties grasses et de la pierre commune, former par succession de temps un composé tout à fait semblable à l'aimant naturel (1). Quoi qu'il en soit, ce minéral a les caractères distinctifs des pierres ; il se calcine au feu, il se pulvérise sous le marteau, et il n'a pas ceux des métaux ; il n'est ni fusible ni malléable.

Cette pierre est ordinairement dure et brune : cependant j'en ai vu des morceaux qui étaient d'un blanc grisâtre, et d'autres qui étaient tellement tendres, qu'on pouvait les entamer avec l'ongle : la couleur et la dureté ne tirent point absolument à conséquence, car les morceaux dont je viens de parler étaient passablement forts. L'aimant ne pèse point tout à fait autant que le fer (2) ; mais il pèse plus que les pierres dont la dureté égale à peu près la sienne, comme le marbre, le caillou, etc.

(1) Histoire de l'Académ. des Scienc., 1731, page 20.

(2) D'autres prétendent que l'aimant pèse spécifiquement autant et plus que le fer, et ils peuvent avoir raison : la différence de nos opinions vient apparemment de ce que l'aimant étant une matière fort mêlée de parties hétérogènes, sa pesanteur spécifique varie suivant les individus.

» Quoiqu'une pierre d'aimant qui a des pôles attire toujours le fer sans aucune préparation, il s'en faut bien qu'elle ait autant de force étant nue que quand elle est *armée*, c'est-à-dire, quand chacun de ses pôles est revêtu d'une lame de fer terminée par une petite masse qui excède de quelques lignes la surface inférieure de la pierre, comme N, S, (*fig.* 212). La différence est si grande, que l'aimant qui est représenté ici, et que je garde depuis quinze ans, peut à peine soutenir une demi-livre de fer lorsqu'il est nu; et avec son armure, il porte facilement un poids de 27 livres et demie.

» Ce qu'il y a de singulier encore, c'est que la pierre n'agit point immédiatement; c'est aux masses S, N, qu'il faut que le contact se fasse : c'est pourquoi l'on fait un portant de fer C, auquel on accroche le poids que l'aimant est en état de porter.

» Toutes les pierres d'aimant n'ont point une égale force, et il n'y a guère que l'épreuve même qu'on en fait qui puisse montrer ce que chaque aimant peut faire; car la grosseur, la couleur, le dégré de dureté, etc., sont des signes extrêmement équivoques : en général, on peut dire que les petites pierres ont plus de force à proportion que les grandes; on trouvera bien plus fréquemment un aimant qui, pesant 2 onces, en soutienne 20, qu'un autre de 2 livres qui porte 10 fois son poids. Cette différence paraît être fondée sur ce que la force de l'aimant tient principalement à ses pôles; dans une grosse pierre ils sont trop étendus, sa vertu n'est point si concentrée.

» On remarque aussi que la figure et les dimensions y entrent pour quelque chose; quand les pôles sont fort distans l'un de l'autre, c'est la disposition la plus avantageuse qu'ils puissent avoir. La puissance d'un aimant dépend aussi beaucoup de la manière dont il est armé ».

La rupture (1) et la lumière solaire (2) sont des sources

(1) Voyez Brisson, dictionnaire de physique, tome 1, page 55.

(2) Les physiciens ne sont pas bien d'accord sur la question de savoir si la lumière est réellement une source de magnétisme. (*Voy. ann. de phys. et de chim.*).

de magnétisme assez faibles. L'électricité en est une plus puissante dont nous avons déjà parlé. Mais le meilleur moyen pour aimanter les substances magnétiques, c'est de leur communiquer de la vertu au moyen d'un aimant ou d'une barre de fer doux disposée à peu près parallèlement à l'aiguille d'inclinaison (1).

« Pour faire un aimant au moyen d'un autre aimant, il faut avoir plusieurs lames de fer, dont chacune ait environ une ligne et demie d'épaisseur, un pied ou 15 pouces de longueur, et 5 à 6 lignes de largeur : des bouts de fleurets sont très-bons pour cet usage, et j'ai même remarqué que cette espèce d'acier, que les ouvriers appellent *étoffe*, réussit mieux que le fer pur. On touche toutes ces lames l'une après l'autre à un fort aimant bien armé, observant de faire glisser chaque face d'un bout à l'autre et dans le même sens sur la masse N de l'armure (*fig.* 213). On réunit ensuite toutes ces lames aimantées, en mettant du même côté toutes les extrémités que l'aimant a touchées les dernières, et l'on serre cet assemblage avec des ligatures de cuivre garnies de vis ou autrement (*voy.* la *fig.* 214). Mais une attention qu'il faut avoir, c'est de ne donner aucun coup de marteau, aucunes secousses rudes à ces pièces, soit avant, soit après les avoir assemblées.

» Ce faisceau de verges aimantées, que l'on a nommé *aimant artificiel*, peut s'employer à toutes les expériences comme un aimant naturel.

» L'aimant (2), soit naturel, soit artificiel, en commu-

---

(1) Dans cette position, la terre qui peut être comparée à un gros aimant, aimante la barre de fer soumise à son influence, plus que dans toute autre. Ce magnétisme disparaît quand on renverse la barre, et elle se trouve aimantée de nouveau en sens contraire, de manière que le pôle d'en bas est toujours le même.

On peut rendre fixe ce magnétisme passager en choquant la barre ou en la tordant.

(2) Abbé Nollet, leçons de physiq. expérim.

niquant ses propriétés au fer, ne perd rien de sa vertu ; on a beau aimanter un grand nombre de lames à la même pierre et de suite, on n'aperçoit point qu'elle en soit épuisée.

» Il arrive pourtant quelquefois qu'un aimant (1) perd sa force par succession de temps : on remarque aussi, quoique plus rarement, qu'il en acquiert ; et en général il paraît que le magnétisme se fait sentir plus vigoureusement l'hiver lorsqu'il règne un vent de nord, que dans toute autre saison et par un temps pluvieux : l'affaiblissement vient plutôt des secousses rudes, de la rouille des armures ou d'un violent dégré de chaleur, peut-être aussi d'une position désavantageuse par rapport aux pôles terrestres.

» Ce ne sont pas les aimans capables de soutenir un grand poids qui sont toujours, comme on le pourrait croire, les plus propres à communiquer une grande vertu au fer : on en voit qui portent peu, et qui touchent puissamment ; d'autres qui portent beaucoup, et qui communiquent peu de vertu. C'est ce qui les fait distinguer par les noms de *vigoureux* et de *généreux ;* ceux-ci sont les plus forts quant à la communication, ceux-là sont les plus puissans pour l'attraction et pour la répulsion : il n'est quelquefois pas besoin de toucher, il suffit d'approcher le fer d'un aimant bien généreux.

» La communication du magnétisme, lorsqu'elle se fait par attouchement ou seulement par approche, s'opère en très-peu de temps, c'est-à-dire, qu'au premier tact une lame de fer s'aimante sensiblement ; mais sa vertu augmente jusqu'à un certain point, si elle est touchée à plusieurs reprises et dans le même sens ; car lorsqu'on la touche alternativement

(1) Un aimant perd toute sa vertu quand on le chauffe fortement : quand la chaleur est médiocre, il ne la perd pas en totalité ; il recouvre même alors en refroidissant une partie de ce qu'il avait perdu.

Pendant qu'elles sont rouges de chaleur, les substances magnétiques perdent même jusqu'à la propriété d'être attirées par les aimans.

en sens contraires, elle perd au second contact ce qu'elle avait acquis dans le premier.

» On fait d'acier toutes les aiguilles de boussoles : si elles étaient de fer doux, elles s'aimanteraient peut-être plus aisément ; mais il est essentiellement nécessaire qu'elles soient bien légères pour être très-mobiles, et qu'elles puissent conserver long-temps leur vertu magnétique : si elles étaient de fer, elles plieraient trop aisément, ou bien il faudrait les faire plus épaisses et par conséquent plus lourdes : d'ailleurs on sait par expérience que l'acier, s'il ne s'aimante pas aussi aisément, garde mieux que le fer la vertu magnétique qu'on lui fait prendre.

» Les aimans artificiels, tels que celui dont il a été question page 386, n'ont point une force proportionnée au nombre des lames qui les composent ; c'est-à-dire, que si chaque lame séparée des autres a la force de soutenir deux onces de fer, huit lames semblables, lorsqu'elles sont réunies, n'en portent point une livre comme il semble qu'elles devraient faire ; il y a toujours du rabais plus ou moins, suivant que leur union est plus ou moins parfaite, ou bien selon quelqu'autre circonstance dont on ignore encore l'importance.

» On peut remarquer aussi que ces assemblages de lames aimantées communiquent au fer beaucoup plus de vertu à proportion qu'un aimant naturel ; et quand on a des aiguiles de boussole à toucher, ou que quelqu'un a la curiosité de faire aimanter un couteau ou une épée, on doit préférer pour cette opération l'aimant artificiel à la pierre armée.

» Je crois que cet avantage vient de la grande distance qu'il y a d'un pôle à l'autre ; car j'ai observé que c'est une figure avantageuse pour une pierre, lorsque sa plus grande longueur se trouve comprise entre les deux pièces de son armure.

» En 1740, il me prit envie de savoir si l'aimant artificiel gagnerait beaucoup d'être armé : le sieur Pierre le Maire m'en composa un de douze lames d'acier trempé, dont chacune avait huit pouces de longueur, une ligne

d'épaisseur et environ dix lignes de largeur ; il en fit un faisceau qu'il serra fortement avec des ligatures de cuivre, et aux extrémités duquel il attacha deux armures semblables à celles que l'on met aux pierres d'aimant (voy. *fig.* 215).

» Cet aimant qui, avant d'être armé, n'enlevait par le bout le plus fort qu'une livre et demie de fer ou à peu près, porta, quand il le fut, un poids de six livres et demie, par le moyen d'une pièce de fer qu'on mit en contact sur les deux masses des armures. C'est la première fois de ma connaissance qu'on ait réuni l'action des deux pôles d'un aimant artificiel par une lame de fer qui communiquât de l'un à l'autre.

» En 1746, M. Knight, médecin anglais, montra à la société royale de Londres un nouvel aimant artificiel qu'il avait composé de deux barreaux d'acier trempé dur, longs de 15 pouces, situés parallèlement entre eux, séparés l'un de l'autre par une règle de bois C de 8 à 9 lignes de large, les extrémités communiquant ensemble par deux petites pièces de fer doux *aa*, *bb*, aussi larges et aussi épaisses que les barreaux, avec cette attention que le pôle nord de l'un répondait au pôle sud de l'autre (*voy.* la *fig.* 216 qui représente cet assemblage).

» M. Knight, avec cet instrument, changea à plusieurs reprises, en présence de la compagnie, les pôles d'un aimant naturel non armé et faible ; et il montra d'une manière décisive que l'acier trempé bien dur s'aimante plus fortement que le fer doux et l'acier recuit après la trempe.

» Pour faire ces expériences, il ôta les deux pièces de fer doux qui faisaient communiquer ensemble ses deux barreaux ; il les ouvrit ensuite comme les deux branches d'un compas, et les aligna bout à bout l'un de l'autre sur une table, de manière que le pôle sud de l'un touchait le pôle nord de l'autre, comme on le peut voir par la *fig.* 217 (1).

(1) Quand on veut aimanter un corps terminé en pointes, il faut toujours terminer les frictions aux pointes ; toute friction commencée à une pointe, lui fait perdre une grande partie de sa vertu.

il plaça successivement sur ces barreaux des aiguilles de boussoles de mer, les unes d'acier trempé très-dur, les autres d'acier revenu au bleu, ou de fer doux; il les plaça, dis-je, de façon que le centre de chacune d'elles répondît à la jonction des deux barreaux; puis, en faisant appuyer dessus avec la main, il tira les deux barreaux en sens contraires, et fit parcourir au pôle nord de l'un la moitié de l'aiguille, et l'autre moitié de la même aiguille au pôle sud du barreau opposé. Par cette épreuve réitérée plusieurs fois de suite, on vit que les aiguilles d'acier, qui avaient une trempe complète, avaient contracté une bien plus grande vertu et d'attraction et de direction, que celles qui avaient été recuites après la trempe, ou qui n'étaient faites que de fer doux.

» M. Knight changea plusieurs fois les pôles d'une pierre d'aimant nue, en la plaçant entre les deux barreaux toujours alignés, mais séparés de manière que le pôle nord de la pierre touchât le pôle nord de l'un d'eux, et son pôle sud le pôle de même nom de l'autre barreau. Cette pierre ayant demeuré un bon quart d'heure dans cette situation, eut ses pôles en sens contraires de ce qu'ils étaient auparavant; on la laissa ensuite autant de temps entre les deux barreaux, son axe ou la ligne de ses pôles coupant à angles droits l'alignement des barreaux : les pôles de la pierre changeant encore de place, se mirent dans la direction de l'aimant artificiel.

» Peu de temps après, M. Knight nous envoya de petits barreaux d'acier longs de 3 à 4 pouces, sur environ trois lignes et demie de diamètre, qui portaient, sans aucune armure, 7 à 8 fois la valeur de leur poids; et ce qu'il y avait de remarquable, c'est que M. Knight a toujours assuré qu'il leur faisait prendre cette vertu magnétique sans le secours d'aucun aimant naturel ni artificiel.

» M. Duhamel, par de nombreux procédés, chercha à imiter ces barreaux magnétiques, dont le médecin anglais a toujours fait mystère; et il parvint à en faire d'aussi forts,

en partant de deux faits déjà connus ; savoir, 1° que quand on aimante une lame de fer ou d'acier, le bout qui est touché le dernier a toujours plus de vertu que l'autre ; 2° que, quand on aimante une petite lame sur une plus grande qui lui sert de support, elle prend par ce moyen plus de vertu qu'elle n'en recevrait si elle était seule.

» M. Duhamel commença donc par toucher avec un aimant naturel de petits barreaux d'acier trempé, posés au bout et sur une barre beaucoup plus grande, et qui avait déjà touché à l'aimant ; ensuite il les mit, à la manière de M. Knight, entre deux barres magnétiques, ayant soin de rendre les pôles de différens noms contigus les uns aux autres, et par là il parvint à aimanter ces petits barreaux aussi fortement que ceux qui avaient été envoyés d'Angleterre (1).

» Mais cette imitation n'était pas complète, en supposant que M. Knight ne se servît d'aucun aimant naturel ou artificiel pour donner la vertu magnétique à ses barreaux : MM. Michell et Canton en Angleterre, et M. Antheaume à Paris, se proposèrent de deviner son secret, ou au moins de parvenir au même but d'une manière quelconque (2).

» Le premier vint à bout de donner un commencement de vertu magnétique à un petit barreau d'acier qu'il plaça bout à bout entre deux barres de fer sur une table un peu inclinée au nord, ayant soin que ces trois corps contigus fussent alignés dans le plan du méridien magnétique, et en

(1) Voyez le détail de ces expériences, mém. de l'acad. royale des sciences, 1745, pag. 18 et suiv., et 1750, pag. 154 et suiv.

(2) Tous ceux qui se sont proposé de faire prendre au fer la vertu magnétique sans le toucher à l'aimant, ont dû se souvenir que le P. Grimaldi, jésuite, il y a environ 200 ans, observa qu'une barre de fer tenue pendant quelque temps dans une situation verticale, s'aimantait assez pour attirer par son extrémité d'en bas la pointe sud d'une aiguille de boussole, et la repousser par son extrémité d'en haut ; phénomène qui s'est confirmé depuis par l'observation qu'en fit Cassendi sur la tige de la croix du clocher de Saint-Jean d'Aix, en Provence, et par une pareille remarque qui fut faite à la fin du dernier siècle, à l'occasion d'une pareille croix à Chartres.

traînant dessus et à plusieurs reprises, dans la direction du nord au sud, le bout d'une troisième barre de fer élevée presque verticalement.

» Le second obtint le même effet, en attachant le petit barreau d'acier contre la partie supérieure d'un fourgon de fer, et en traînant dessus de bas en haut, et à plusieurs fois, le bout inférieur d'une de ces pincettes qui servent communément à attiser le feu.

» Voici la méthode que j'ai vu pratiquer avec succès au troisième (à M. Antheaume), et je copie ses propres paroles : « Sur une planche, dit-il, inclinée dans la direction » de l'aiguille d'inclinaison, c'est-à-dire, pour Paris, inclinée » à l'horizon de 70 dégrés du côté du nord, je place de file » deux barres de fer carrées, de 4 à 5 pieds de longueur » sur 14 à 15 lignes d'épaisseur, limées carrément par leurs » extrémités intérieures ou qui se regardent, entre lesquelles » je laisse un intervalle de 6 lignes; j'applique à chacune » de ces extrémités une espèce d'armure formée avec de la » tôle de 2 lignes d'épaisseur, 14 à 15 lignes de largeur » et une ligne de plus de hauteur, dont le côté qui doit » être appliqué à la barre est limé et entièrement plat; trois » des bords de l'autre face sont taillés en biseau, ou en » chanfrein; le quatrième, qui doit excéder d'une ligne » l'épaisseur de la barre, est limé carrément, pour former » une espèce de talon. Pour remplir le reste de l'inter- » valle, je mets entre ces deux armures une petite languette » de bois de deux lignes d'épaisseur. Tout étant ainsi dis- » posé et placé, comme je l'ai dit, dans la direction de » l'aiguille d'inclinaison, je glisse sur ces deux talons à la » fois, suivant la longueur des barres de fer, la barre d'acier » que je veux aimanter, la faisant aller et venir lentement » d'un de ses bouts à l'autre, comme on ferait si l'on aiman- » tait sur les deux talons d'une pierre d'aimant. (*Voy.* la *fig.* » 218 qui représente tout cet appareil) (1).

(1) AB, la planche ou le madrier incliné; CD, EF, les deux barres de fer alignées; *ll*, les deux armures de tôle; *hi*, la lame de bois qui est entre les armures; KL, la lame à aimanter.

» J'ai été surpris moi-même, ajoute M. Antheaume, de » voir que j'aimantais ainsi tout d'un coup, non seulement » de petites barres comme celles de MM. Michell et Canton, » mais de grosses barres d'acier d'un pied de longueur et » et même plus longues, ce qu'on n'obtiendrait jamais par » leurs méthodes. L'expérience m'a fait connaître depuis » que cette opération produit des effets encore plus sur- » prenans, en employant des barres de fer de 10 pieds de » longueur chacune; la force magnétique que reçoit pour » lors la barre d'acier, égale celle qu'elle recevrait d'un » très-bon aimant, etc. » *Mém. sur les aimans artificiels, qui a remporté le prix de l'acad. de Pétersbourg en* 1760. *A Paris, chez Butard*, 1760.

» De quelque manière que les barreaux aient reçu la vertu magnétique, on en fait des aimans artificiels d'une très-grande force, en les multipliant et en les distribuant en deux faisceaux séparés l'un de l'autre par deux dés de bois d'un pouce d'épaisseur, les pôles de différens noms communiquant ensemble de part et d'autre par une armure de fer doux, comme les barreaux simples de M. Knight, (*voy.* la *fig.* 219). J'en ai un de cette espèce qui porte 75 livres.

» Feu M. Bazin, qui a écrit sur le magnétisme, m'envoya, il y a dix ou douze ans, de Strasbourg, des aimans artificiels qu'il faisait d'un seul barreau tourné en forme de fer à cheval, comme on le peut voir par la *fig.* 220. Ils ont cet avantage que les deux pôles, comme aux aimans naturels, communiquent ensemble par un contact ou portant de fer doux, auquel on accroche le poids qu'on veut faire porter.

» Quant à la manière de toucher avec les faisceaux de M. Michell les barreaux qui forment l'aimant artificiel de M. Knight, représenté par la *fig.* 216, MM. Duhamel et Antheaume recommandent le procédé suivant comme le meilleur : il faut placer l'assemblage désigné par la figure que je viens de citer sur une table un peu longue; que

chaque barreau A A (*fig.* 221) se trouve tour à tour dans l'alignement des deux autres barres d'acier D B et B E, longues de deux pieds et demi ou trois pieds ; puis on place sur le milieu du barreau A le bout N (*fig.* 222) de l'un des faisceaux et le bout S de l'autre, et l'on traîne à plusieurs reprises et doucement celui-ci jusqu'en D et celui-là jusqu'en E ; ce que l'on réitère pour chaque barreau sur les deux faces opposées ».

Observations sur le magnétisme.

Rien n'est plus propre à nous faire connaître la nature d'une modification de la matière que l'examen des circonstances dans lesquelles elle a été produite : pour le magnétisme, en particulier, il nous apprend que ce ne peut être qu'un mouvement des atomes ne différant pas essentiellement de l'électricité. Les effets magnétiques ont d'ailleurs trop de ressemblance avec les effets électriques pour que cette vérité puisse être révoquée en doute, surtout depuis les découvertes qui ont prouvé que les aimans étaient capables de produire aussi des étincelles et des décompositions chimiques. Toutefois, de grandes différences se font remarquer dans certains résultats : les aimans conservent leur vertu pendant un temps indéfini quand ils sont placés dans des positions favorables, et ils peuvent la communiquer à autant de corps qu'on veut sans la perdre aucunement. Ces faits surprenans ne permettent pas de regarder l'électricité et le magnétisme comme identiques ; mais ils ne seront pas une raison de mettre une grande distance entre ces deux classes de phénomènes, pour ceux qui se rappelleront combien la lumière et l'électricité paraissent éloignées par leurs effets, quoique si rapprochées par leur nature. On peut, au reste, démontrer, en s'appuyant sur un des faits indiqués précédemment, une proposition assez importante :

La modification en quoi consiste le magnétisme n'est pas répandue uniformément dans tout le corps aimanté ; elle

réside à la surface, ou, au moins, elle y est plus intense que dans l'intérieur.

En effet, si la modification était répandue uniformément dans tout le corps aimanté, on pourrait concevoir la section $a' c' a c$ (*fig.* 223) d'un aimant, partagée par une ligne bf parallèle à sa longueur : une parcelle de limaille de fer placée en b serait attirée par abf avec une force bd sensiblement égale à la force ag, par laquelle une autre parcelle placée en a serait elle-même sollicitée (les attractions magnétiques décroissent très-rapidement à mesure que la distance augmente); elle serait attirée également suivant be, et la résultante bf de ces deux forces étant, comme diagonale d'un carré, plus grande que bd ou ag, l'attraction devrait être, dans cette hypothèse, plus grande en b qu'en a, ce qui est opposé à ce qu'on a vu dans l'expérience de la page 361. En admettant, au contraire, que la modification ne réside que dans une certaine couche vers la surface, comme le représente la *fig.* 224, la grande vertu magnétique qu'on observe vers les arrêtes s'explique facilement. Elle est due à ce que, vers les angles, la profondeur à laquelle la modification s'étend est plus considérable, 1° parce que la ligne qui passe par le milieu de l'angle A, par exemple, est plus longue, comme oblique, que la ligne qui mesure, au milieu d'une face, la profondeur de la couche modifiée; et 2° parce que, vers l'arrête, la modification, qui est certainement transmissible par contact, est communiquée à la petite portion d'acier comprise vers le sommet de l'angle dièdre figuré par les deux lignes ponctuées; ce qui augmente encore la profondeur de la couche modifiée, en donnant à sa surface intérieure une forme arrondie, comme on le voit en A. Remarquons encore qu'il n'est pas nécessaire que la modification n'existe pas dans l'intérieur de l'aimant pour l'explication du phénomène dont il s'agit, qu'il suffit qu'elle soit plus intense à la surface; et nous en conclurons la proposition énoncée plus haut.

FIN.

TABLE.

Suite des mouvemens imperceptibles et des mouvemens perceptibles qui en résultent.

LUMIÈRE,	3
Corps illuminés,	4
Vîtesse avec laquelle la lumière se transmet,	6
Optique,	7
Qualités de la lumière,	9
Transmission de la lumière en ligne droite et applications,	15
Catoptrique,	40
Lois suivant lesquelles la lumière se réfléchit,	*id.*
Explication de ces lois,	42
Des miroirs plans,	43
Applications,	44
Miroirs convexes,	53
Applications,	55
Miroirs concaves,	59
Applications,	61
Remarques sur les miroirs mixtes,	69
Réflexion sur les surfaces non polies,	74
Dioptrique,	*id.*
Lois suivant lesquelles la lumière se réfracte,	75
Applications,	81
Transmission de la lumière à travers un milieu terminé par deux surfaces planes parallèles,	84
Applications,	86
Transmission de la lumière à travers un milieu terminé par deux surfaces planes inclinées,	89

Déviation du rayon lumineux, 90
Déviation *minimum*, *id.*
Détermination des indices de réfraction, *id.*
Tableau des indices de réfraction, 92
Passage de la lumière d'un milieu dans un autre, terminé par des surfaces convexe ou concave, 100
Lentilles, 102
MIRAGE, 114
Sur la vision et sur les instrumens d'optique, 119
De la vision naturelle, *id.*
Couleurs considérées dans la vision, 143
De la vision aidée par les instrumens d'optique, 147
Lunettes simples, 148
Chambre obscure, 153
Curiosités, 157
Télescopes et lunettes d'approche, 159
Microscopes simples et composés, 167
Lanterne magique et microscope solaire, 172
COULEURS PRODUITES PAR LA RÉFRACTION, 178
Explications, 184
Raies du spectre, 190
APPLICATIONS AUX COULEURS DES CORPS VUS A TRAVERS LES PRISMES, A L'ARC-EN-CIEL, etc., 192
Prismes, *id.*
Arc-en-ciel, 197
Parhélies, 204
Achromatisme, 205
DOUBLE RÉFRACTION, 208
Double réfraction du verre comprimé, 212
ELECTRICITÉ, *id.*
SOURCES ET NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ, 213
Frottement, *id.*
Choc — pression — actions chimiques, 214
Chaleur, 215
PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ, 216
Conducibilité, 217

Isolement, 218
Action à distance, 222
Effets de l'électricité, 223
Courans produits dans l'air par les corps électriques, 224
Différence d'action entre les corps électrisés et les corps chauds, 226
Attractions et répulsions électriques, 227
Tourniquet électrique, 228
Explication de la force des courans auprès des pointes électrisées, 229
Propositions relatives aux attractions et répulsions électriques, 230
Principales causes déterminantes de la force des courans excités dans l'air par les corps électrisés, *id.*
Courant ascendant produit dans certains cas par les corps électrisés, 231
Danse des pantins et expériences analogues, 232
Explication de quelques phénomènes d'attraction et de répulsion, 234
Attractions et répulsions dans le vide, 238
Etincelles électriques. Explications des circonstances qui les accompagnent, *id.*
Aigrettes, 240
Dilatation des gaz, 241
Mortier électrique. Thermomètre de Kinnersley, *id.*
Inflammations. Combinaisons. Pistolet de Volta, *id.*
Décomposition de l'eau, 242
Accélération de l'écoulement des liquides par les tuyaux capillaires, 243
Accélération de la végétation, 244
Accélération de l'évaporation, 246
Odeur qui accompagne une forte électricité, 249
Moyens de mesurer l'électricité, *id.*
Instrumens propres à mesurer l'attraction, 251
— — — la répulsion, 252
— — — les étincelles, 254

Circonstances qui font varier les dégrés d'électricité que les corps acquièrent par le frottement. 254
La distinction de deux électricités de nature différente est inadmissible, 257
Mesure de l'intensité de l'électricité transmise par réfraction, 266
Propositions y relatives, 267
Déperdition de l'électricité, 268
Pouvoir des pointes, 269
APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ, 270
Machines électriques, *id.*
Expériences diverses, 279
Électrophores, 282
Condensateur, 283
Bouteille de Leyde, *id.*
Expériences diverses, 287
Condensateur à lames d'or, 292
Application de l'électricité aux paratonnerres, 293
Construction des paratonnerres, 296
Observation sur l'efficacité des paratonnerres, 309
Relation des malheurs arrivés à Châteauneuf-les-Moustiers, le 11 juillet 1819, adressée à l'académie des sciences par M. Trancalye, vicaire-général de Digne, 312
COURANS GALVANIQUES, 315
Production de ces courans, *id.*
Multiplicateur, *id.*
Piles électro-chimiques, 318
Pile à auge, *id.*
— de Wollaston, 319
— en hélice, *id.*
Effets des courans, 320
— physiques des courans, *id.*
Action des courans sur les aimans, 326
Action de la terre et des aimans sur les courans, 330
Action des courans sur les courans, 335
Solénoïdes, 344

Effets chimiques des courans, 345
Des poissons électriques, 351
Aurore boréale, 355
MAGNÉTISME, 360
Attractions magnétiques, 361
Distribution de la vertu magnétique dans les aimans, 362
Actions des aimans sur les aimans, 363
Action de la terre sur les aimans. Déclinaison, 365
Boussole de déclinaison, 366
La déclinaison de l'aiguille aimantée varie dans le même lieu avec le temps, *id.*
Tableau des différens dégrés de déclinaison de l'aiguille aimantée observée à Paris, 367
Applications de la direction de l'aiguille aimantée, 371
Inclinaison de l'aiguille aimantée, 375
Tableau de l'inclinaison pour Paris, 377
Perturbations de l'aiguille de déclinaison, 378
Action des aimans sur tous les corps, 379
Action des corps en repos sur les aimans en mouvement, et des corps en mouvement sur les aimans en repos, *id.*
Etincelles produites au moyen des aimans, 381
Décomposition de l'eau par les aimans, 382
SOURCES DU MAGNÉTISME. AIMANTATION, 383
OBSERVATIONS SUR LA THÉORIE DU MAGNÉTISME, 394

FIN DE LA TABLE.

Fig. 1.

Fig. 2.

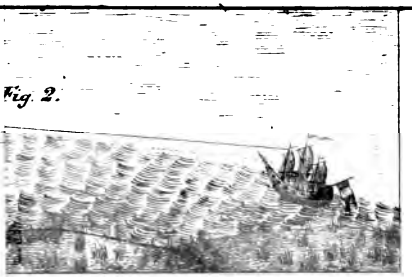


Fig. 3, 4 et 5.

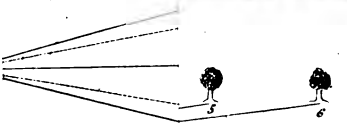


Fig. 8.

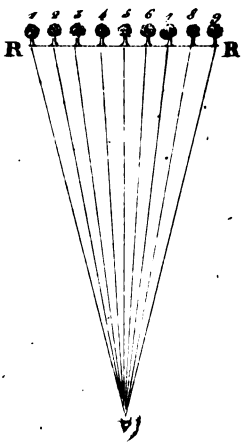


Fig. 7.

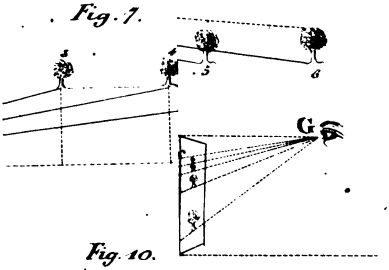
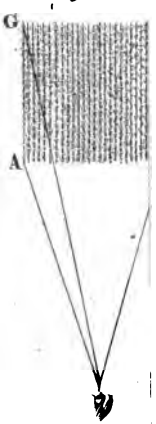


Fig. 10.



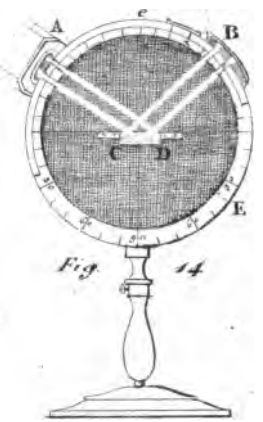


Fig. 14

Lith. de Landais et Mauteville, Rennes.

Fig. 18.

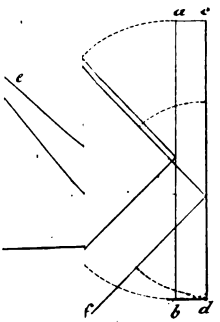


Fig. 22.

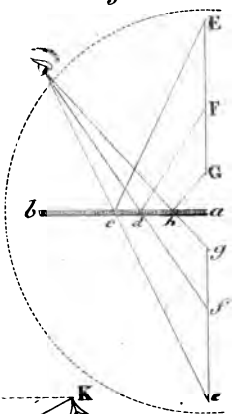


Fig. 21.

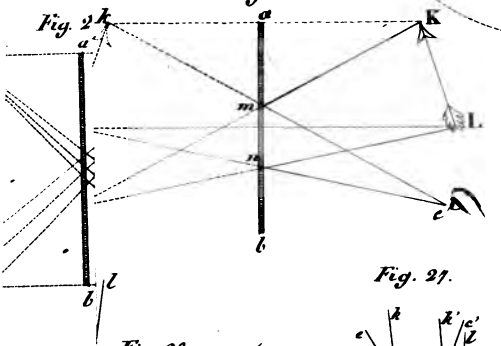


Fig. 27.

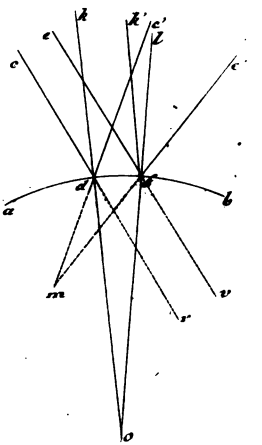


Fig. 28.

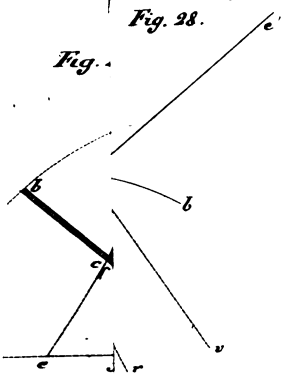
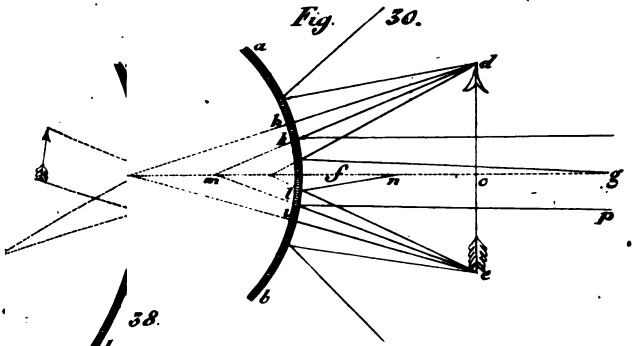


Fig. .

Lith. de Landais et Martinet, Rennes.

Fig. 30.



38.

Fig. 39.

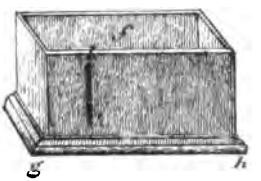
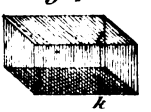


Fig. 40.



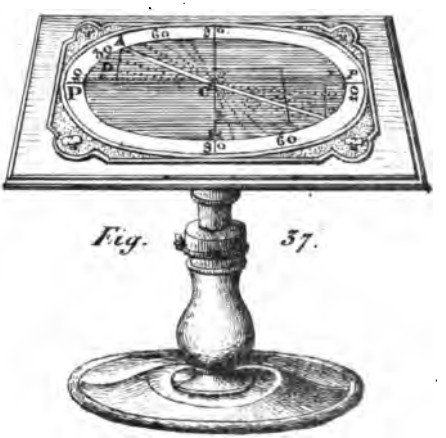


Fig. 37.

Lith. de Landais et Marteville Rennes.

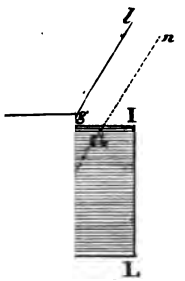
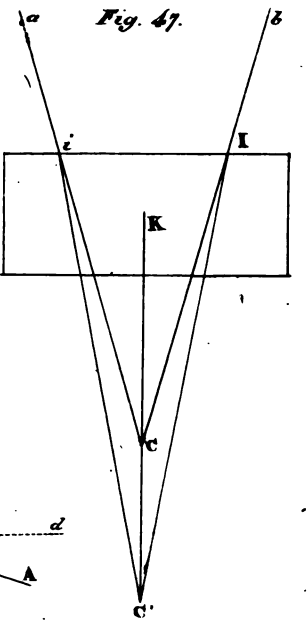
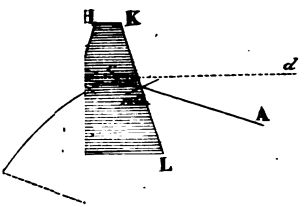


Fig. 47.





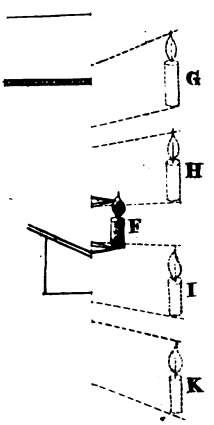


Fig. 42.

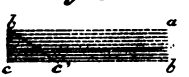
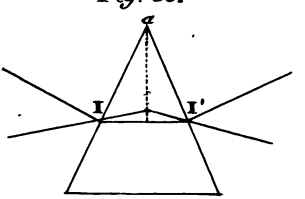


Fig. 50.



Lith. de Landais et Martinville, Rennes.

Fig. 55.

Fig. 57.

Fig. 58.

Fig. 59.

Fig. 60.

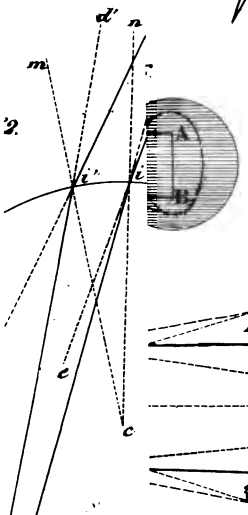


Fig. 67.

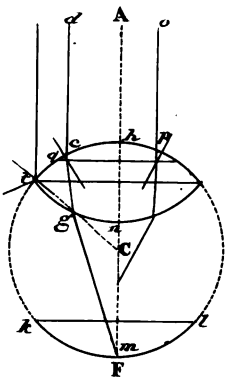
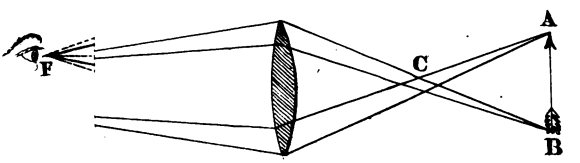


Fig. 70.



Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

Fig. 76.

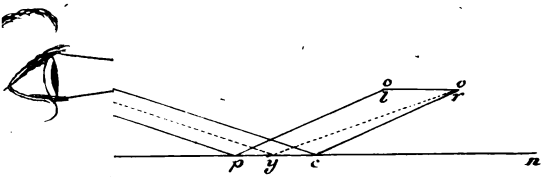


Fig. 77.

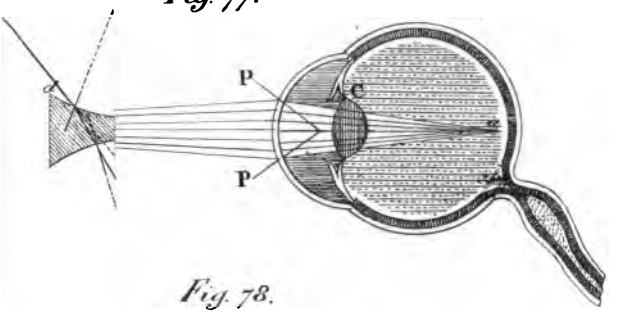


Fig. 78.

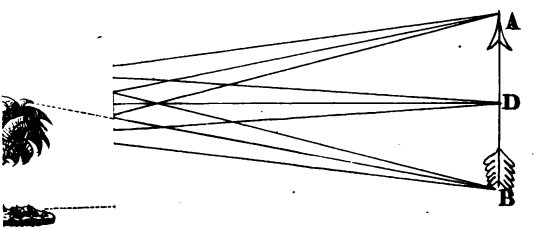
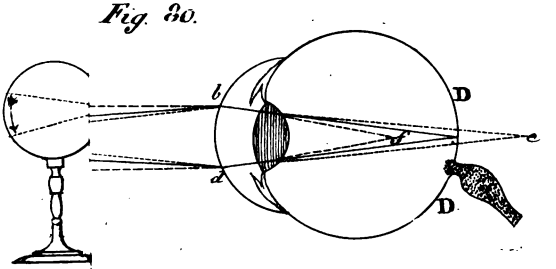


Fig. 80.



Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

Fig. 87.

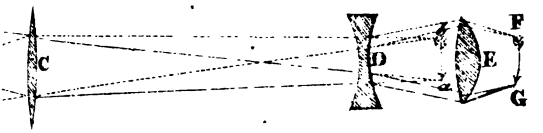


Fig. 88.

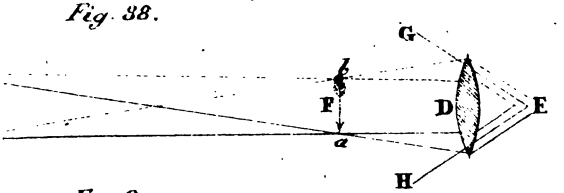
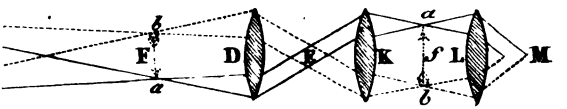


Fig. 89.



Télescope Newtonien.

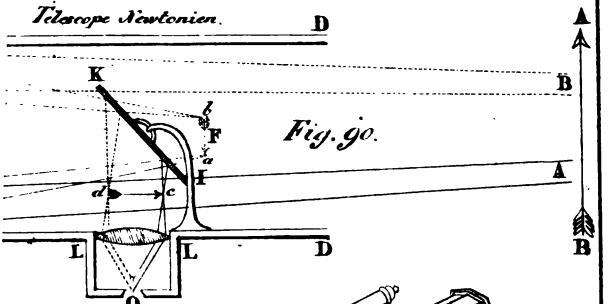
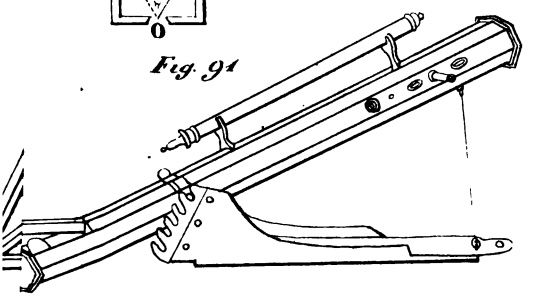


Fig. 90.

Fig. 91



Lith. de Landais et Marteville, Rennes

Fig. 94.

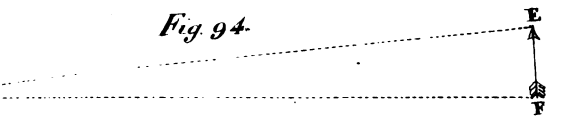


Fig. 95.

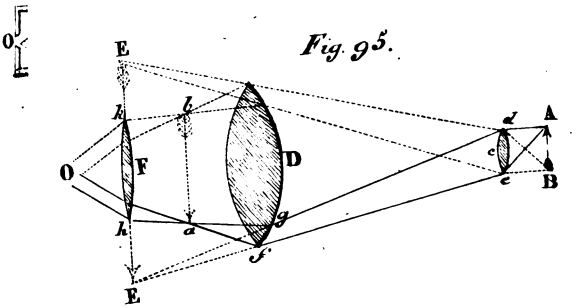
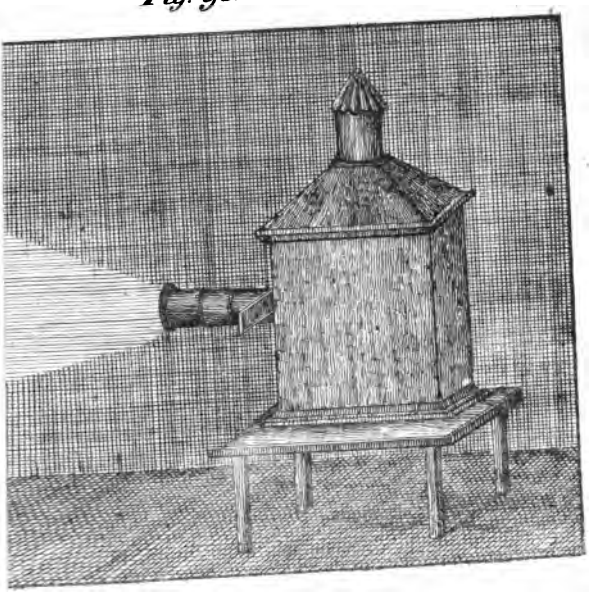


Fig. 98.



Lith. de Landais et Monteville. Rennes.

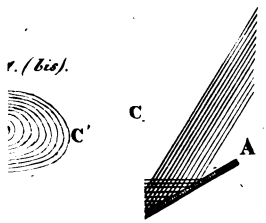


Fig. 101.

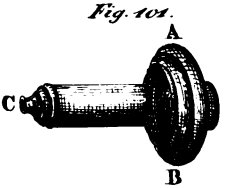


Fig. 103.

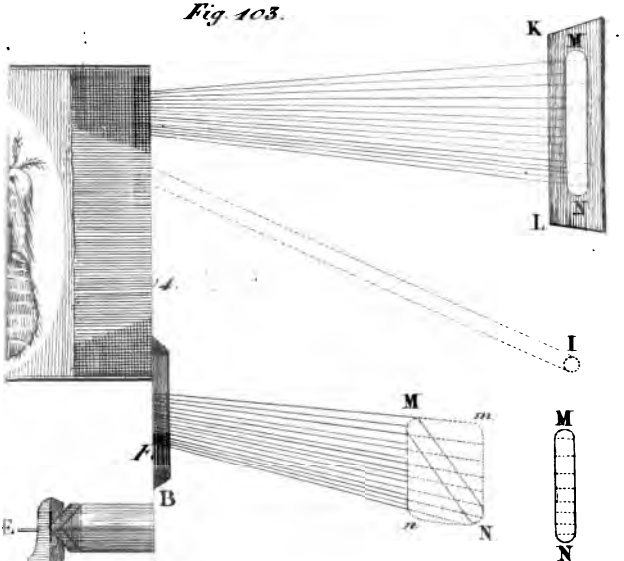
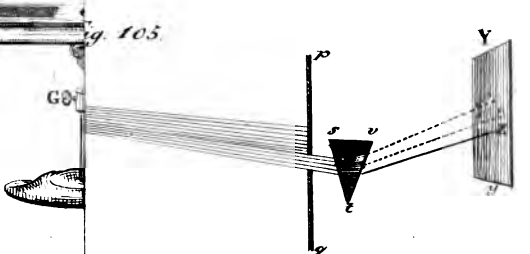


Fig. 105.



Lith. de Landais & Marteville, Rennes.

Fig. 108.

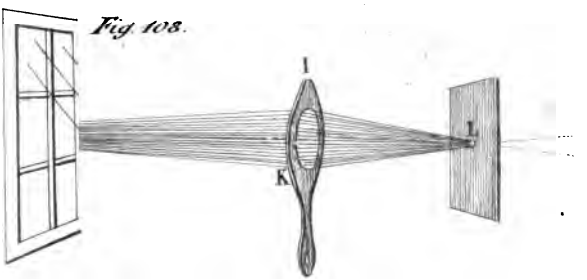


Fig. 111.

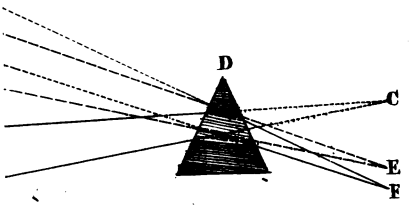
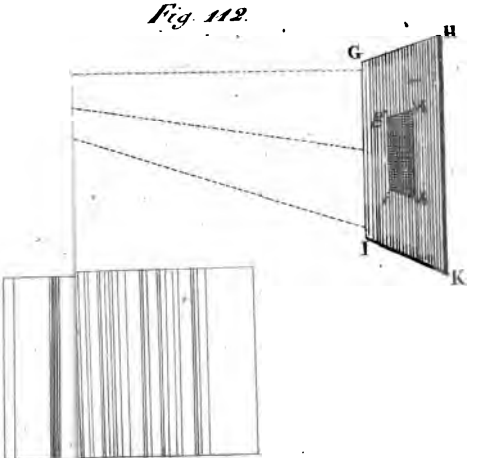
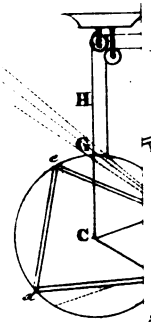


Fig. 112.



Lith. de Landais et Marteville. Rennes.

Fig. 114.



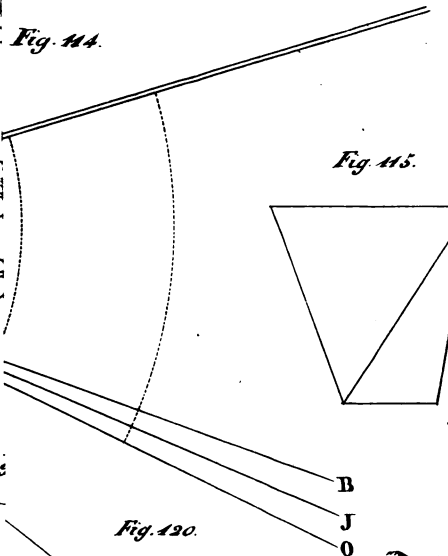


Fig. 115.

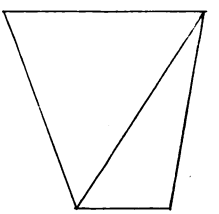


Fig. 120.

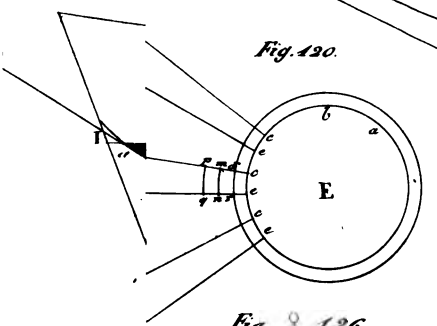


Fig. 122.

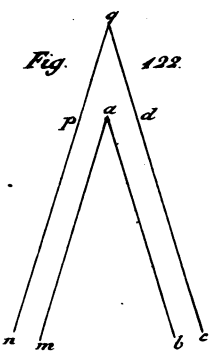
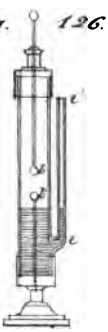
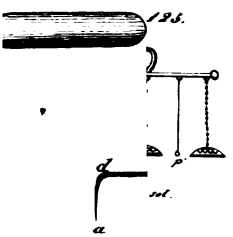
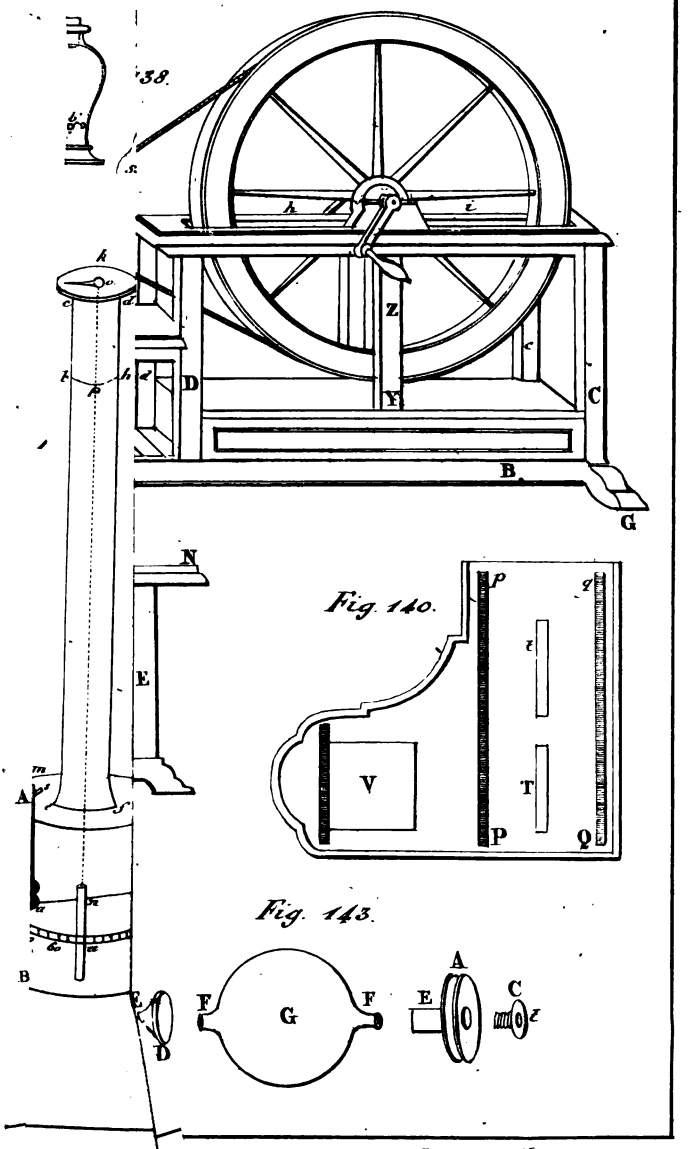


Fig. 126.



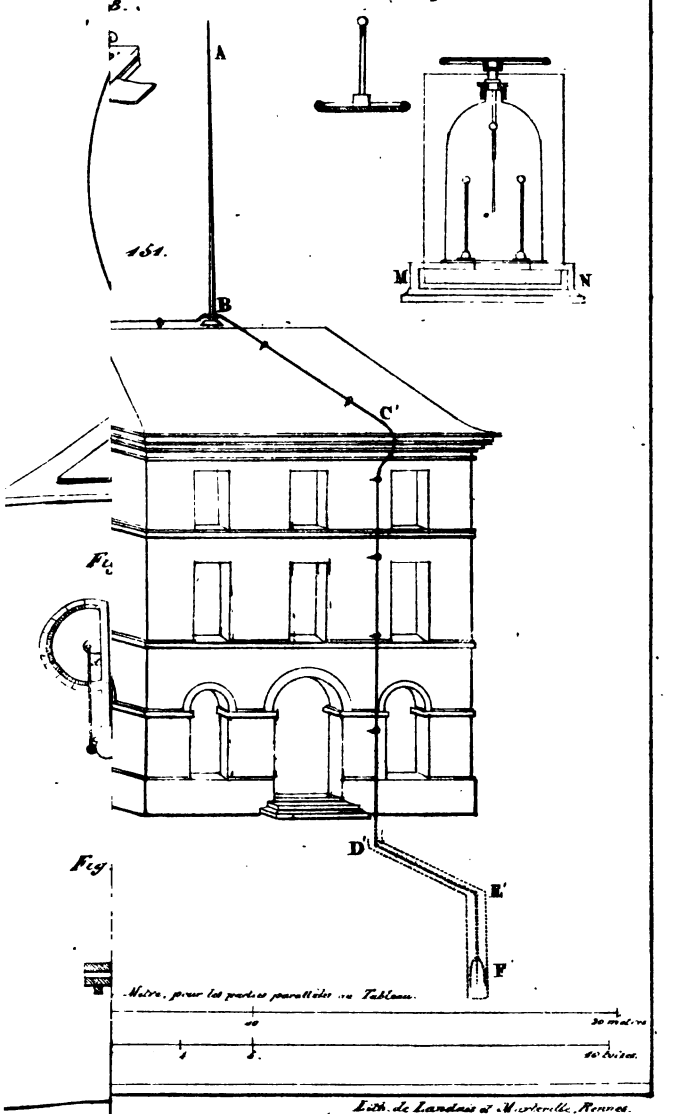


Lith. de Lemaire et Normand, Rouen



Lith. de Landais et Martinville.

Fig. 150.



Lith. de Landais et Morterolle, Rennes.

Fig. 163.

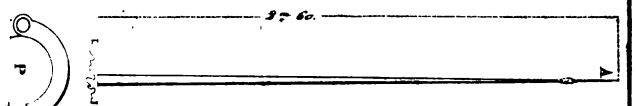


Fig. 161.

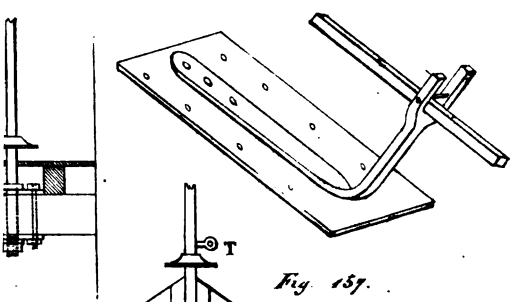
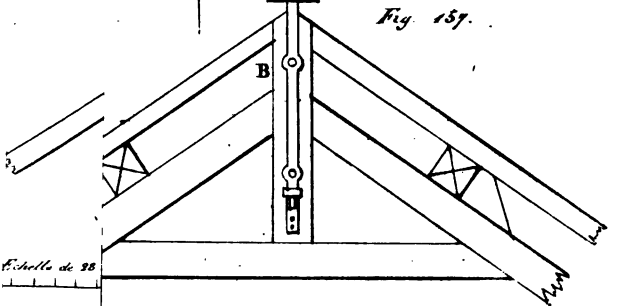
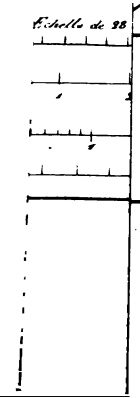


Fig. 157.





Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

Fig. 169.

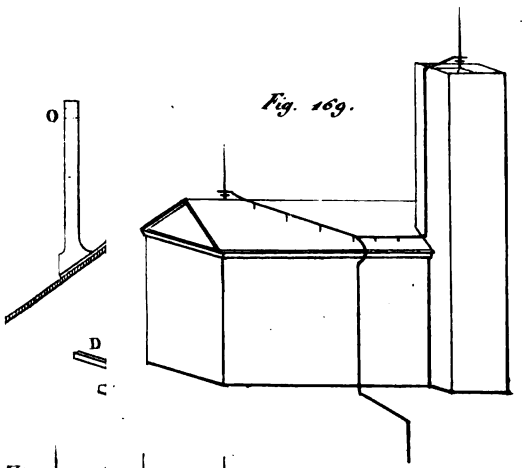


Fig. 16

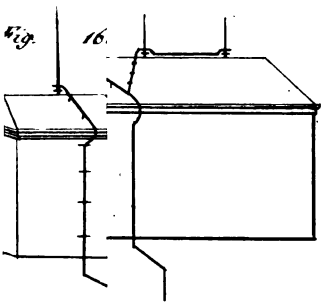
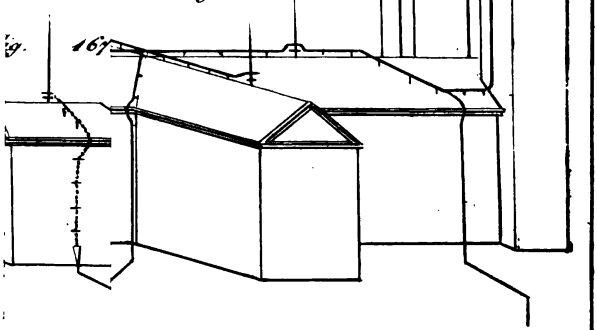
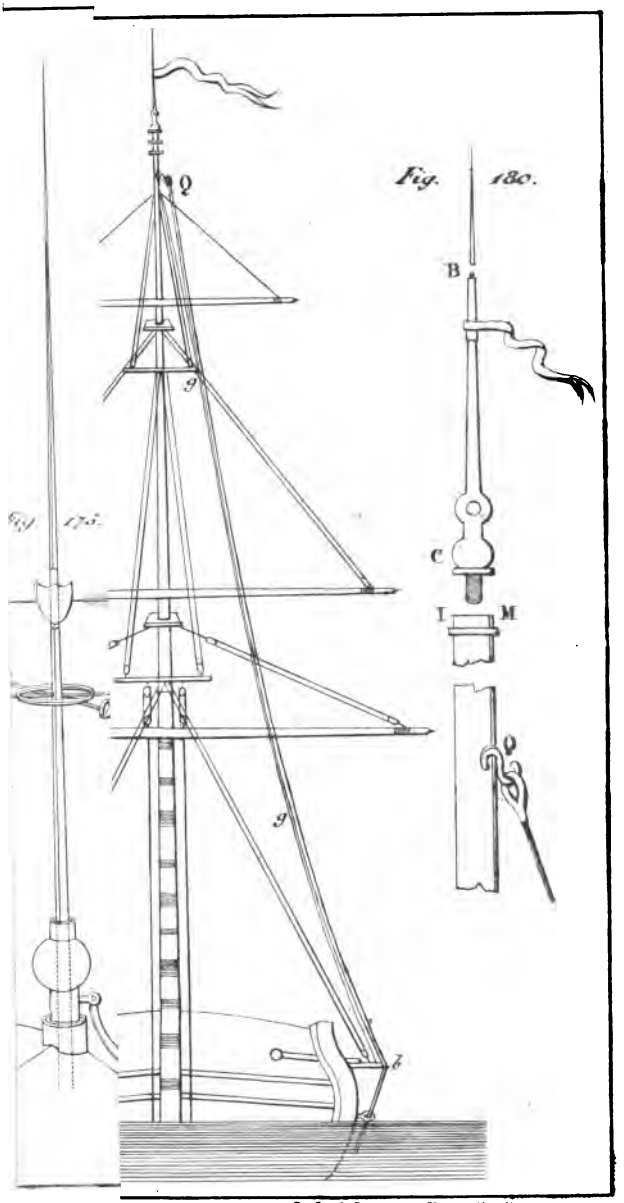


Fig. 171.

ig. 167



Lith. de Lemaire et Martinville, Reims.



Lith. de Lemaire et Martinville, r.

Fig. 183.

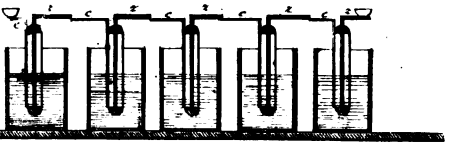


Fig. 194.

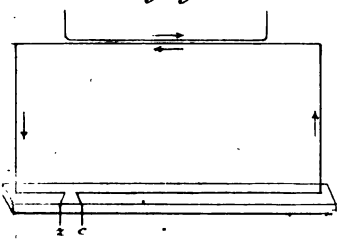


Fig. 195.

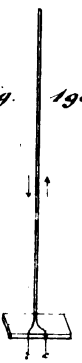
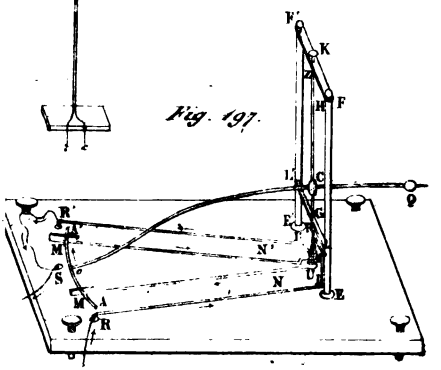


Fig. 192.

Fig. 197.



Lith. de Landais et Montmolle Rivoire.

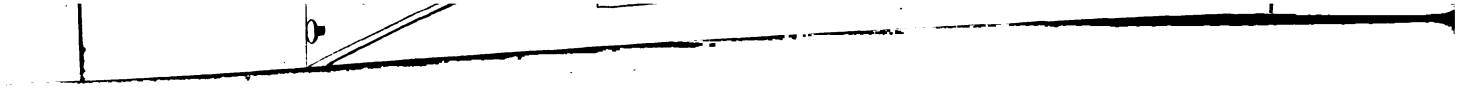


Fig. 202.

Fig. 203.

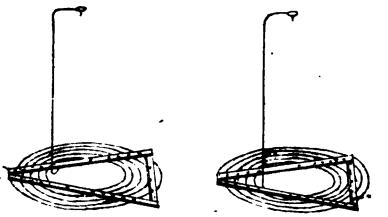
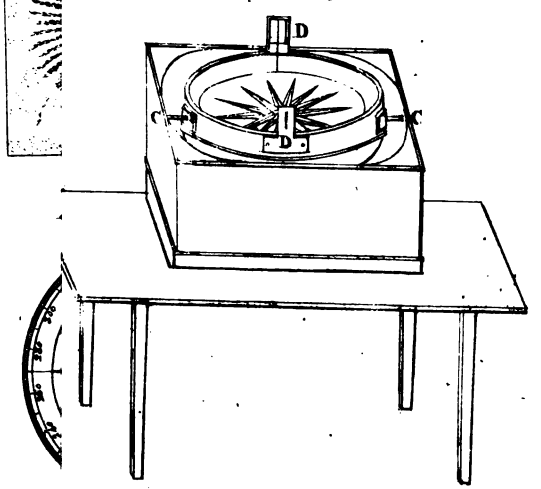


Fig. 206.

Fig. 209.



Lith. de Lemoine et Martinville, Nancy.

Fig. 216.

Fig. 221.

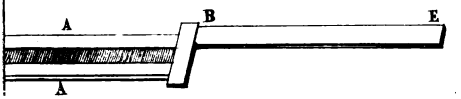


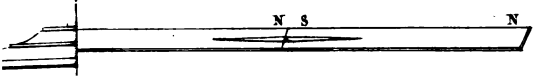
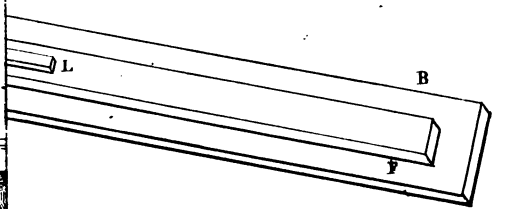
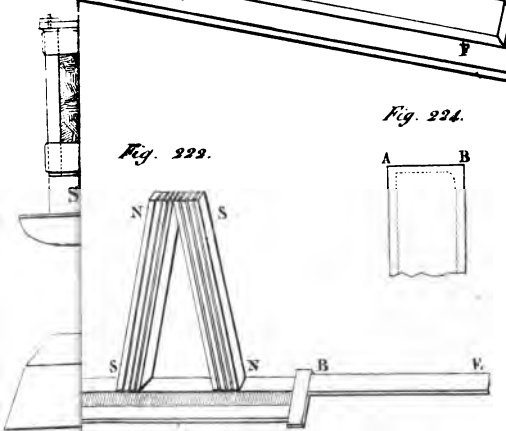
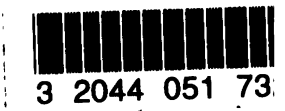
Fig. 217.



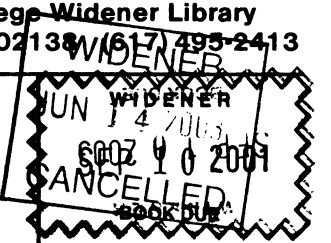
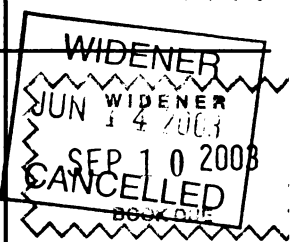
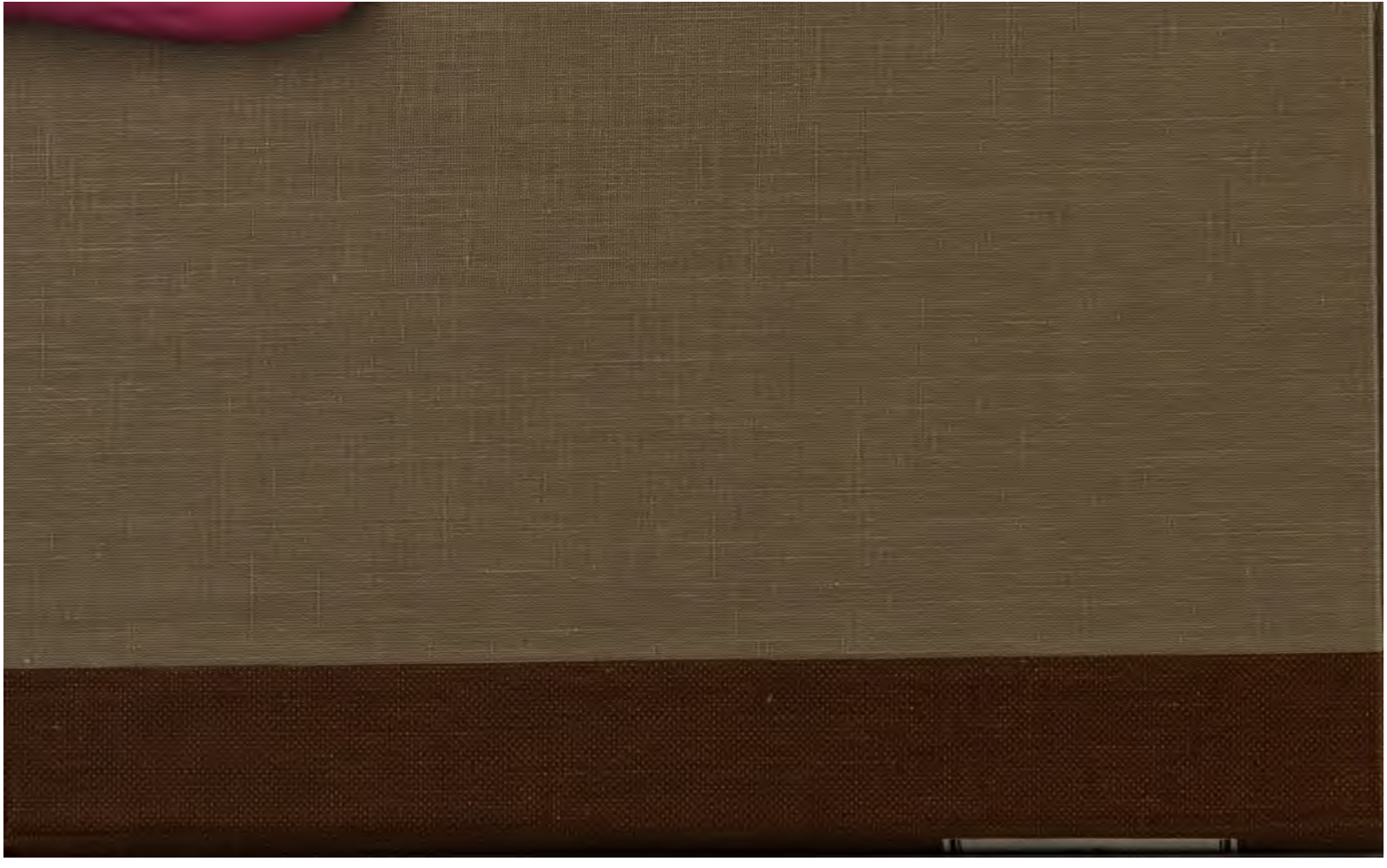
Fig. 224.

Fig. 223.



Lith. de Landais et Morlaville, Rennes.


3 2044 051 73

THE BORROWER WILL BE CHARGED AN OVERDUE FEE IF THIS BOOK IS NOT RETURNED TO THE LIBRARY ON OR BEFORE THE LAST DATE STAMPED BELOW. NON-RECEIPT OF OVERDUE NOTICES DOES NOT EXEMPT THE BORROWER FROM OVERDUE FEES.

Harvard College Widener Library
Cambridge, MA 02138 (617) 495-2413